Approved by the Calcutta University for Intermediate Students
(Vide Notification No. T. 898 dated 28-5-52)

ইণ্টারমিডিয়েট

পদার্থ-বিদ্যা

প্রথম ভাগ

(Intermediate Physics)

শ্রীহরপ্রসাদ দে এম্ এস্ সি. ; পি. আর. এস্.
বিদ্যাসাগর কলেজের পদার্থ বিদ্যার অধ্যাপক, কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের
আই, এস্, সি ও বি, এস্, সির পরীক্ষক, গৌহাটি বিশ্ববিদ্যালয়ের
আই, এস্, সির পরীক্ষক, বসু বিজ্ঞান মন্দিরের
পদার্থ বিদ্যার গবেষক

ও

শ্রীনৃপেন্দ্রনাথ সিংহ এম্ এস্ সি.
কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের ভূতপূর্ব্ব স্যার রাসবিহারী ঘোষ রিসার্চ স্কলার

বেঙ্গল পাবলিশার্স
১৪, বঙ্কিম চাটুজ্জে ষ্ট্রীট, কলিকাতা—১২

প্রথম ভাগ :—সাধারণ পদার্থ-বিদ্যা,
তাপ, আলোক বিদ্যা ও শব্দ
দ্বিতীয় ভাগ :—চুম্বকত্ব, তড়িৎ।

প্রথম সংস্করণ— শ্রাবণ, ১৩৫৬
প্রকাশক—শ্রীশচীন্দ্রনাথ মুখোপাধ্যায়
বেঙ্গল পাবলিশার্স
১৪, বঙ্কিম চাটুজ্জে স্ট্রীট
কলিকাতা-১২
মুদ্রাকর—শম্ভুনাথ বন্দ্যোপাধ্যায়
মানসী প্রেস
৭৩, মাণিকতলা স্ট্রীট,
কলিকাতা—৬
প্রচ্ছদপট পরিকল্পনা—
আশু বন্দ্যোপাধ্যায়
ব্লক ও প্রচ্ছদপট মুদ্রণ
ভারত ফোটোটাইপ ষ্টুডিও
বাঁধাই—বেঙ্গল বাইণ্ডার্স

আট টাকা

ভূমিকা

বর্তমান যুগ হল বিজ্ঞানের যুগ। অল্প সময়ের মধ্যে আমাদের দেশে বিজ্ঞানের বহুল প্রচার করতে হলে তা মাতৃভাষার মাধ্যমেই করতে হবে। কলেজের প্রথম দুই বৎসরের ছাত্রদের উপযোগী পদার্থ-বিদ্যার বই বাংলা ভাষায় আজ পর্যন্ত লেখা হয় নাই। শ্রীমান হরপ্রসাদ ও শ্রীমান নৃপেন্দ্রনাথ সেই অভাব দূর করবার চেষ্টা করেছেন। এঁরা সরল ভাষায় বিজ্ঞানের দুরূহ-তত্ত্বগুলি সকলের বোধগম্য করবার চেষ্টা করেছেন ও বহু চিত্রের সাহায্যে বিষয়বস্তু সকলের কাছে সহজবোধ্য করতে চেয়েছেন। শ্রীমান হরপ্রসাদ বহুদিন ধরে পদার্থ-বিদ্যার শিক্ষকতা করছেন। শিক্ষক হিসাবে তাঁর সুনাম যথেষ্ট। শ্রীমান নৃপেন্দ্রনাথও বিজ্ঞানের একজন কৃতী ছাত্র। এই দুই জনের সমবেত চেষ্টার ফলে যে বই লেখা হল, সেটা দেশের একটা প্রধান অভাব দূর করবে বলে আমার ধারণা।

আশা করছি ছাত্র-মহলে এই বইখানি সমাদৃত হবে এবং এর সাহায্যে তাঁরা অল্প আয়াসেই পদার্থ-বিদ্যার মূলতত্ত্বগুলি আয়ত্ত করতে পারবে।

কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ে বিজ্ঞানের পরীক্ষায় বাংলায় উত্তরদানে কোন বাধা-নিষেধ নাই। এরূপ স্থলে কলেজ-শিক্ষকমণ্ডলী যদি পুস্তকখানি ছেলেদের পাঠ্য হিসাবে মনোনীত করেন, তাহ'লে বাংলাভাষায় বিজ্ঞান-প্রচারের কাজ অনেকটা এগিয়ে যাবে। পরে আরও উচ্চাঙ্গের বিজ্ঞানের বই লেখার কাজও অনেক সোজা হয়ে দাঁড়াবে।

সায়েন্স কলেজ
৯২নং অপার সারকুলার রোড,
কলিকাতা, ১০ই আষাঢ়, ১৩৫৬।

সত্যেন্দ্রনাথ বসু

গ্রন্থকারের নিবেদন

দেশ স্বাধীন হইবার সঙ্গে সঙ্গে শিক্ষা-বিষয়ে আমূল পরিবর্তন সাধনের চেষ্টা চলিতেছে। এই পরিবর্তনের মধ্যে প্রধান হইবে মাতৃভাষাকে শিক্ষার বাহন রূপে প্রবর্তন করা। মাতৃভাষাই যে শিক্ষাদানের শ্রেষ্ঠ মাধ্যম-এ বিষয়ে সকল শিক্ষাবিদ্‌ই একমত। মাতৃভাষার মাধ্যমে বৈজ্ঞানিক জ্ঞান-প্রসারের প্রথম সোপান হইল মাতৃভাষায় লিখিত বৈজ্ঞানিক পুস্তক। বিশ্ববিদ্যালয় কর্তৃপক্ষ বিজ্ঞানের পরীক্ষায় বাংলায় উত্তর-দানে বাধা-নিষেধ তুলিয়া দিয়াছেন। তাহাতে বাংলায় বৈজ্ঞানিক জ্ঞান-প্রসারের পথ অনেকটা সুগম হইয়াছে। আশা করি, বাংলা ভাষায় পদার্থ-বিদ্যা লিখিবার আমাদের ক্ষুদ্র প্রয়াস এই বিষয়ে অনেকটা সহায়তা করিবে।

এই পুস্তক ইণ্টারমিডিয়েট ছাত্রদের উপযোগী করিয়া লিখিত হইয়াছে। তাহাতে বিশ্ববিদ্যালয়-প্রবর্তিত পরিভাষা যথাসম্ভব ব্যবহৃত হইয়াছে এবং প্রত্যেক বৈজ্ঞানিক কথার ইংরাজি প্রতিশব্দ সঙ্গে সঙ্গেই দেওয়া হইয়াছে। আমরা সর্বত্রই সরল ও একার্থবোধক ভাষা ব্যবহারের চেষ্টা করিয়াছি। প্রত্যেক অধ্যায়ের শেষে কলিকাতা ও অন্যান্য বিশ্ববিদ্যালয়ের বহু প্রশ্ন দেওয়া হইয়াছে এবং বহু অঙ্ক কষিয়া দেওয়াছে।

বিখ্যাত বৈজ্ঞানিক শ্রদ্ধেয় অধ্যাপক সত্যেন্দ্রনাথ বসু মহাশয় এই পুস্তকের ভূমিকা লিখিয়া দিয়া আমাদের উৎসাহবর্ধন করিয়াছেন। শ্রদ্ধেয় অধ্যাপক চারুচন্দ্র ভট্টাচার্য, ডক্টর শিশিরকুমার মিত্র ও অন্যান্য অধ্যাপকবৃন্দ এই পুস্তক সম্বন্ধে পরামর্শ দিয়াছেন। এই জন্য আমরা তাঁহাদিগকে আমাদের আন্তরিক ধন্যবাদ জানাইতেছি।

আশা করি, বিভিন্ন কলেজের অধ্যাপকগণ এই পুস্তক পাঠ্য-রূপে মনোনীত করিয়া আমাদের উৎসাহিত করিবেন। এই পুস্তকের উন্নতিকল্পে যে কোন পরামর্শ সাদরে গৃহীত হইবে।

গ্রন্থকার

সূচীপত্র

সাধারণ পদার্থ-বিদ্যা

তাপ

আলো

সূচীপত্র

শব্দ বিদ্যা

পদার্থ বিজ্ঞান

প্রথম খণ্ড

সাধারণ পদার্থ বিজ্ঞান

(GENERAL PHYSICS)

১। **বিজ্ঞান শিক্ষার পদ্ধতি** :—কোন বিষয়ের সম্পূর্ণ সঠিক শ্রেণীবদ্ধ জ্ঞানকেই বিজ্ঞান বলে। বৈজ্ঞানিক জ্ঞান অর্জনের জন্য নির্ভুল পর্যবেক্ষণ-শক্তির (correct observation) অনুশীলন করা, হাতে হাতে পরীক্ষা (experiment) করা ও বিচার-বুদ্ধি (reason) প্রয়োগ দ্বারা কোন ঘটনায় কার্য-কারণ সম্বন্ধ নির্ণয় করা দরকার।

নিউটন আকাশে জ্যোতিষ্কের গতি লক্ষ্য করিয়া গ্রহগুলি সূর্যের চারিদিকে কেন ঘোরে এই বিষয়ের কোন সমাধান করিতে পারিলেন না। তিনি যখন এই সমস্যার সমাধানে মগ্ন ছিলেন তখন একদিন বৈকালে বাগানে ভ্রমণের সময় দেখিলেন যে একটি সুপক্ক আপেল ফল বৃন্তচ্যুত হইয়া মাটিতে পড়িল। তখন তাঁহার বৈজ্ঞানিক মন জিজ্ঞাসা করিল, "ফলটি উপরের দিকে না যাইয়া নীচের দিকে পড়িল কেন?" নিউটন ষোল বৎসর যাবৎ বিচার-বুদ্ধি প্রয়োগ করিয়া এই প্রাকৃতিক ঘটনার কার্য-কারণ সম্বন্ধ নির্ণয় করিলেন যে পৃথিবীর আকর্ষণে আপেলটি মাটিতে পড়িয়াছিল। এই পর্যবেক্ষণ ও বিভিন্ন পরীক্ষার ফলে তিনি মহাকর্ষ-সূত্র নামক একটি **প্রাকৃতিক নিয়ম** (Law of Nature) আবিষ্কার করেন। প্রকৃতিতে একই কারণে সর্বদা একই ঘটনা সংঘটিত হয় (Nature repeats itself)। আর্কিমিদিস সূত্র, দোলক সূত্র প্রভৃতি বহু প্রাকৃতিক নিয়ম সূক্ষ্ম পর্যবেক্ষণ শক্তির ও বিচার-বুদ্ধি প্রয়োগের জন্য আবিষ্কৃত হইয়াছে। প্রকৃত বৈজ্ঞানিক তাঁহার অনুসন্ধিৎসু মন দ্বারা প্রকৃতির রহস্য উদ্‌ঘাটনে সর্বদা সজাগ থাকেন।

২। **জড় (Matter) ও শক্তি (Energy):** যাহা জায়গা দখল করে, যাহার ওজন আছে এবং যাহার অস্তিত্ব কোন ইন্দ্রিয়ের দ্বারা অনুভব করা যায় তাহাকে জড় বলে। জড়ের উপর কোন কার্য করিবার ক্ষমতাকে **শক্তি** বলে। শক্তির ওজন নাই। শক্তি জায়গা দখল করে না। জলে তাপ দিলে তাপ জলের পরমাণুর গতি বৃদ্ধি করে। জল আয়তনে বাড়ে। পরমাণুর গতি-শক্তি এঞ্জিন চালায়। এখানে জল জড়, তাপ শক্তি। জলের ওজন আছে; জল জায়গা দখল করে। তাপের ওজন নাই; তাপ জায়গা দখল করে না। জড় ও শক্তির সম্পর্ক অচ্ছেদ্য। শক্তি ছাড়া জড় নাই, জড় ছাড়া শক্তি প্রকাশিত হয় না। লীলাময় প্রকৃতি জড় ও শক্তিরূপে আমাদের কাছে আত্মপ্রকাশ করে। আধুনিক মতবাদ অনুসারে শক্তিকে জড়ে এবং জড়কে শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায়।

৩। **পদার্থ বিজ্ঞানের বিভাগ:** পূর্বে পদার্থ বিজ্ঞান বলিতে প্রকৃতির সম্বন্ধে সমস্ত জ্ঞানভাণ্ডারকে বুঝাইত, যথা জ্যোতির্বিদ্যা, উদ্ভিদ বিদ্যা ইত্যাদি। বর্তমানে পদার্থ বিজ্ঞান জড়ের ধর্ম, শ্রেণী, বাহ্যিক পরিবর্তন, বিভিন্ন শক্তির ধর্ম ও ক্রিয়ার বিষয় আলোচনা করে। শক্তি ছয়রূপে আমাদের কাছে প্রকাশিত হয়, যথা স্থিতি-স্থাপকতা ও মাধ্যাকর্ষণ, তাপ, আলো, শব্দ, চুম্বক ও তড়িৎ হইতে প্রাপ্ত শক্তি। সেইজন্য পদার্থ বিজ্ঞানকে ছয় শ্রেণীতে বিভক্ত করা যায়:—(ক) **সাধারণ পদার্থ বিজ্ঞান** (General Physics), (খ) **তাপ** (Heat), (গ) **আলো** (Light), (ঘ) **শব্দ** (Sound), (ঙ) **চুম্বকত্ব** (Magnetism), (চ) **তড়িৎ** (Electricity)। ইহাদের মধ্যে (ক) জড়ের ধর্মের এবং (খ) হইতে (চ) পর্যন্ত শক্তির ধর্মের বিষয় আলোচনা করে। সাধারণ পদার্থ বিজ্ঞান আবার দুইভাগে বিভক্ত, যথা:—(ক) **বল-বিদ্যা** (Mechanics) (খ) **জড়ের সাধারণ গুণ**। বল-বিদ্যা আবার দুইভাগে বিভক্ত, যথা:—(ক) **স্থিতি-বিদ্যা** (Statics) ও **গতি-বিদ্যা** (Dynamics)। তরল পদার্থের বল-বিদ্যাকে **উদ্স্থিতি বিদ্যা** (Hydrostatics) বলে।

✓ ৪। **মাপের একক (Units):** সঠিক বৈজ্ঞানিক জ্ঞান অর্জনের জন্য অনেক প্রকারের রাশির (quantity) মাপ গ্রহণ করা প্রয়োজন হয়, যথা দৈর্ঘ্য, সময়, ওজন, আয়তন। একটি নির্দিষ্ট সুবিধাজনক পরিমাণকে একক ধরিয়া

সকল জিনিষের সম প্রকার রাশির মাপ গ্রহণ করা হয়। যতবার একক রাশির মধ্যে থাকে তাহাই রাশির মাপ (measure)। ∴ **রাশির মাপ = সংখ্যা × একক**। 'তিন ফুট দীর্ঘ ছড়ি' বলিলে বুঝিতে হইবে যে এক ফুট নামক নির্দিষ্ট এককের দৈর্ঘ্য ছড়ির দৈর্ঘ্যের মধ্যে তিন বার আছে। বিভিন্ন রাশির (যথা আয়তন, সময়, তাপ, বেগ) বিভিন্ন একক।

৫। **প্রাথমিক** (Fundamental) ও **লব্ধ** (Derived) **একক :** বিভিন্ন রাশির মধ্যে সম্পর্ক বজায় রাখার জন্য তিনটি রাশির একককে **প্রাথমিক** একক ধরা হয়। অন্যান্য রাশির একক এই তিনটি রাশির একক হইতে পাওয়া যায়। ইহাদিগকে **লব্ধ** একক বলে। দৈর্ঘ্য, সময় ও ভরের একককে প্রাথমিক একক বলে। ইহারা পরস্পর নির্ভরশীল নহে। ক্ষেত্রফল (area), আয়তন (volume), বেগ (velocity) প্রভৃতি অন্য সব রাশির একক তিনটি প্রাথমিক একক হইতে পাওয়া যায়। যে বর্গক্ষেত্রের (square) প্রত্যেক বাহুর মাপ এক দৈর্ঘ্য একক তার ক্ষেত্রফল ক্ষেত্রফলের একক। এক একক দৈর্ঘ্য এক একক সময়ে অতিক্রান্ত হইলে যে বেগ হয় তাহাকে বেগের একক বলে। লব্ধ এককগুলি খুব বড় বা খুব ছোট হইলে যথাক্রমে উহাদের ভগ্নাংশ বা উহাদের গুণিতক কোন একক ঠিক করিতে হয়। ইহাদিগকে **কার্যকরী একক** (Practical unit) বলে।

৬। **এককের দুই প্রণালী** (System) **:** (১) ব্রিটিশ বা **ফুট-পাউণ্ড-সেকেণ্ড** (F. P. S.) প্রণালী—ইহাতে দৈর্ঘ্য, ভর ও সময়ের একক যথাক্রমে ফুট, পাউণ্ড ও সেকেণ্ড। (২) ফ্রেন্স বা মেট্রিক বা **সেণ্টিমিটার-গ্রাম-সেকেণ্ড** (C. G. S.) প্রণালী—ইহাতে দৈর্ঘ্য, ভর ও সময়ের একক যথাক্রমে সেণ্টিমিটার (centimetre), গ্রাম (gram or gramme) ও সেকেণ্ড। C. G. S. প্রণালীই সাধারণতঃ সমস্ত বৈজ্ঞানিক মাপে প্রয়োগ করা হয়।

৭। (ক) **দৈর্ঘ্যের একক :** এক গজের $\frac{1}{3}$ ভাগ হইল এক ফুট। একটি ব্রঞ্জ দণ্ডের নির্দিষ্ট দুইটি চিহ্নের মধ্যবর্তি দূরত্বকে এক **গজ** (Yard) বলে। এই দণ্ডটি লণ্ডনের এক অফিসে সর্বদাই ৬২ ফাঃ উষ্ণতায় রাখা হয়। পূর্বে প্যারিস বরাবর উত্তর মেরু হইতে বিষুবরেখা পর্যন্ত পৃথিবীর যে চাপ (arc) তাহার এক

কোটি ভাগের একভাগকে **মিটার** বলা হইত। এখন একটি প্লাটিনাম দণ্ডের নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যকে মিটার বলে। ইহাকে প্যারিসে 0° সেঃ উষ্ণতায় রাখা হয়।

মনে রাখিবে :—

১০ মিলিমিটার (mm) = ১ সেন্টিমিটার (সেঃ মিঃ cm), ১০ সেন্টিমিটার = ১ ডেসিমিটার (dm), ১০ ডেসিমিটার = ১ মিটার (m), ১০ মিটার = ১ ডেকামিটার (Dm), ১০ ডেকামিটার = ১ হেক্টোমিটার (Hm), ১০ হেক্টোমিটার = ১ কিলো-মিটার (Km)। ১ ইঞ্চি = ২'৫৪ সেঃ মিঃ, ১ মিঃ = ৩৯'৩৭ ইঞ্চি = ১'০৯ গজ। ১ কিঃ মিঃ = '৬২১ মাইল = ১০০০ মিঃ। ৬৪ মিঃ = ৭০ গজ, ১ মাইল = ৫২৪০ ফুট ; ১ ফ্যাদম = ৬ ফুট, ১ চেন (chain) = ৬৬ ফুট ;

(খ) বর্গক্ষেত্রের একক = এক বর্গ ফুট (বঃ ফুঃ) বা এক বর্গ সেন্টিমিটার (বঃ সেঃ মিঃ)। ১ বর্গ সেঃ মিঃ = '১৫৫ বর্গ ইঞ্চি, ১ বর্গ মিঃ = ১৫৫০ বর্গ ইঞ্চি।

(গ) আয়তনের একক = এক ঘন ফুট (ঘঃ ফুঃ) বা এক ঘন সেন্টিমিটার (ঘঃ সেঃ c. c.)। ১ গ্যালন = ৬২ ফাঃ উষ্ণতায় ১০ পাউণ্ড বিশুদ্ধ জলের আয়তন। ১ লিটার (litre) = ১ কিলোগ্রাম ঠাণ্ডা জলের আয়তন = ১০০০ ঘন সেঃ মিঃ। ১ ঘঃ ফুট = ২৮'৩১ লিটার।

✓ ৮। **ভরের (Mass) একক** :—F. P. S. প্রণালী অনুসারে এক পাউণ্ড (Pound Avoirdupois) ভরের একক। C. G. S. প্রণালী অনুসারে এক কিলোগ্রাম ভরের একক। সাধারণতঃ এক **গ্রাম** (gram) ভরের একক ধরা হয়। এক ঘন সেন্টিমিটার বিশুদ্ধ জলের ভর হইল এক গ্রাম।

১ গ্রাম (gm) = ১০ ডেসিগ্রাম = ১০০ সেন্টিগ্রাম = ১০০০ মিলিগ্রাম। ১ কিলোগ্রাম = ১০০০ গ্রাম। ১ পাউণ্ড = ৪৫৩'৫৬ গ্রাম = ১৬ আউন্স = ৭০০০ গ্রেণ, ১ কিলোগ্রাম = ২'২০৫ পাউণ্ড। ১ গ্রাম = ১৫'৪৩২ গ্রেণ। ১ টন = ২০ cwt = ২২৪০ পাউণ্ড, ১ ষ্টোন = ১৪ পাঃ, ১ ঘঃ ফুঃ জলের ভর = ৬২'৫ পাউণ্ড। ১ সের = ৯৬০ গ্রাম।

৮ (ক)। **মেট্রিক প্রণালীর সুবিধা :** (ক) এই প্রণালীতে প্রত্যেক একক পরবর্তি নিম্ন এককের দশগুণ। সেইজন্য এই প্রণালীকে দশমিক (decimal) প্রণালীও বলে। এক একক হইতে পরবর্তি এককে যাইতে হইলে

কেবল দশমিক বিন্দুকে সরাইতে হয়; যথা ২'৩১৫মিঃ = ২৩১'৫ সেঃ মিঃ = ২৩১৫ মিঃ মিঃ। ব্রিটিশ প্রণালীতে এক একক হইতে পরবর্তি এককে যাইতে হইলে অনেক গুণ বা ভাগ করিতে হয়; যথা ১২ গজ = ১২ × ৩৬ = ৪৩২ ইঞ্চি। (খ) এই প্রণালীতে দৈর্ঘ্য, আয়তন ও ভরের একক সুবিধাজনক ভাবে সংশ্লিষ্ট; যথা, ১ ঘঃ সেঃ মিঃ জলের ওজন = ১ গ্রাম। এই দুইটি সুবিধার জন্য সমস্ত বৈজ্ঞানিক মাপে এই প্রণালী অবলম্বিত হয়।

✓ ৯। **ভর, আয়তন ও ঘনাঙ্ক (Density) :** কোন পদার্থে যতটুকু জড় (matter) থাকে তাহাকে ভর বলে। পদার্থ যতটুকু জায়গা দখল করে তাহাকে **আয়তন** বলে। এক ঘন আয়তনের ভরকে **ঘনাঙ্ক** বলে। যদি ভর = m, আয়তন = v, ঘনাঙ্ক = d হয় তাহা হইলে $d = \frac{m}{v}$ ......(১)

4°Cতে জলের ঘনাঙ্ককে ঘনাঙ্কের একক ধরা হয় (C. G. S. প্রণালীতে)।

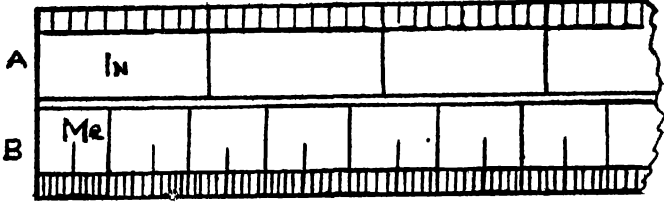
অঙ্ক—The length of a rectangular 100 pound cake of ice is 1·75 ft. and it is one foot square at the end. Find the density of the cake. (C. U. 1948).

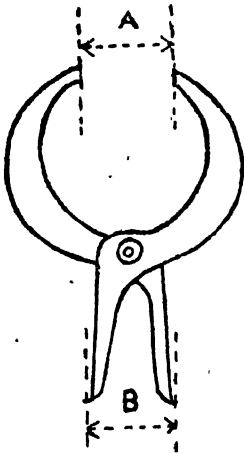
বরফের চাড়াটির আয়তন = ভূমির ক্ষেত্রফল × দৈর্ঘ্য = ১ × ১'৭৫ ঘঃ ফুঃ।

$\therefore$ ঘনাঙ্ক = $\frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}} = \frac{১০০}{১'৭৫}$ = ৫৭'১৪২ পাঃ প্রতি ঘঃ ফুটে।

✓ ১০। **সময়ের একক**—সূর্যের খ-মধ্যে পর পর দুই অবস্থিতির সময়ের আপাত ব্যবধানকে **সৌর দিন** বলে। বৎসরের সমস্ত সৌর দিনের সময়কে যোগ করিয়া ৩৬৫¼ দিয়া ভাগ করিলে ভাগফলকে **গড় সৌর দিন** (mean solar day) বলে। এক ঘণ্টা = সৌর দিন ÷ ২৪; এক মিনিট = এক ঘণ্টা ÷ ৬০, এক সেকেণ্ড = এক মিনিট ÷ ৬০। এক সেকেণ্ড দুই প্রণালীতেই সময়ের একক। এক সৌর দিন + ৪ মিনিট = এক **নাক্ষত্র** দিন (sidereal day)। ১ সৌর দিন = ৮৬৪০০ সেঃ।

✓ ১১। **দৈর্ঘ্য মাপিবার যন্ত্র : (ক) স্কেল (Scale) :** একটি কাঠের বা ইস্পাতের পাতের একধার (A) ইঞ্চিতে বা ইঞ্চির দশমিক ভাগে এবং অপর

ধার (B) সেণ্টিমিটারে বা মিলিমিটারে অংশাঙ্কিত (graduated) করা থাকে। স্কেলকে কোন পদার্থের গায়ে লাগাইয়া কিংবা বিভাজক (divider) বা

১নং চিত্র—স্কেল

callipers দ্বারা কোন পদার্থের মাপ লইয়া পরে স্কেল হইতে মাপের অঙ্ক পড়িতে হয়। ২নং চিত্রে A পা দিয়া বাহিরের ও B পা দিয়া ভিতরের ব্যাস মাপা হয়।

২নং চিত্র—ক্যালিপারস্

(খ) **ভার্ণিয়ার (Vernier) : যন্ত্র**—প্রধান স্কেলে মিলিমিটারের কোন অংশ সাধারণতঃ দেখিয়া আন্দাজ করা হয়। ইহার মাপ সঠিকভাবে লইবার জন্য প্রধান স্কেলের (S) পাশে একটি ছোট স্কেল V এমন ভাবে লাগান থাকে যাহাতে ছোট স্কেলকে সহজে এদিক ওদিক সরান যায়। ছোট স্কেলকে **ভার্ণিয়ার** বলে। **নীতি** (Theory) :—ভার্ণিয়ার এমনভাবে অংশাঙ্কিত থাকে যে n সংখ্যক ভার্ণিয়ার অংশ $=(n+1)$ বা $(n-1)$ সংখ্যক প্রধান স্কেলের অংশ।

∴ ভার্ণিয়ার ধ্রুবক (Vernier constant বা Least count) = একটি স্কেলের অংশ—একটি ভার্ণিয়ার অংশ $= \frac{1}{n} \times$ একটি স্কেলের অংশ।

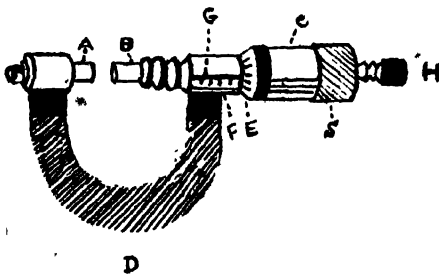
ভার্ণিয়ারের ব্যবহার : (ক) প্রধান স্কেলের ক্ষুদ্রতম অংশের মান বাহির কর। মনে কর উহার মান = ১ মিঃ মিঃ = ·১ সেঃ মিঃ। (খ) ভার্ণিয়ারকে

সরাইয়া ভার্ণিয়ারের শূন্য দাগ স্কেলের শূন্য দাগের সঙ্গে মিলাইয়া দাও। এখন দেখ ভার্ণিয়ারের সমস্ত অংশগুলি কতগুলি স্কেলের অংশের সমান হয়। মনে কর ১০ ভার্ণিয়ারের অংশ = ৯ স্কেলের অংশ। (গ) এবার ভার্ণিয়ার ধ্রুবক বাহির কর। ভার্ণিয়ার ধ্রুবক = স্কেলের অংশের ১/১০ ভাগ = ·০১ সেঃ মিঃ। (ঘ) স্কেলের গায়ে মাপ লইবার দ্রব্য (A) রাখ। দ্রব্যের বাম প্রান্ত স্কেলের শূন্য দাগের সঙ্গে মিলাইয়া দাও। ভার্ণিয়ারকে সরাও যতক্ষণ না দ্রব্যের অপর প্রান্ত ভার্ণিয়ারের শূন্য দাগের সঙ্গে মিলিয়া যায়। ভার্ণিয়ারের শূন্য দাগের ঠিক পূর্বে অবস্থিত স্কেলের অংক পড়। মনে কর উহা ৭। ৭ম দাগ হইতে ভার্ণিয়ারের শূন্য দাগ পর্যন্ত যে দূরত্ব, দ্রব্যের দৈর্ঘ্য ·৭ সেঃ মিটারের চেয়ে ততটুকু বেশী হইবে। মনে কর ভার্ণিয়ারের ৫ম দাগ স্কেলের একটি দাগের সঙ্গে মিলিয়া যায়। ∴ স্কেলের ৭ম দাগ হইতে ভার্ণিয়ারের শূন্য দাগ পর্যন্ত দূরত্ব = ৫ × ভার্ণিয়ার ধ্রুবক = ৫ × ·০১ সেঃ মিঃ = ·০৫ সেঃ মিঃ।

0 10 20 25
0 5

৩নং চিত্র—ভার্ণিয়ার

∴ A দ্রব্যের দৈর্ঘ্য = ·৭ + ·০৫ = ·৭৫ সেঃ মিঃ। এই ভার্ণিয়ার অনেক রকম যন্ত্রে ব্যবহৃত হয়।

(গ) স্ক্রু গেজ (Screw-Gauge) :—খুব ক্ষুদ্র দ্রব্যের মাপ লইতে (যথা তারের ব্যাস, ধাতব পাতের বেধ (thickness), এই যন্ত্র ব্যবহার করা হয়।

৪নং চিত্র—স্ক্রু-গেজ

যন্ত্রের বিবরণ—A একটি স্থির (fixed) দণ্ড। B দণ্ডের গায়ে স্ক্রুর প্যাঁচ কাটা আছে। B দণ্ডটি স্ক্রুর সাহায্যে একটি ফাঁপা চোঙ G র ভিতর এদিক ওদিক নড়িতে পারে। দুই দণ্ডেরই প্রান্ত খুব সমতল। A দণ্ড ও G চোঙ একটি U-আকৃতির ধাতব দণ্ড D দ্বারা দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে। B দণ্ডের

স্ক্রুটি একটি বড় ধাতব টুপি (screw head) S দ্বারা ঘুরান যায়। টুপিটি চোঙের বাহিরের গা বরাবর চলিতে পারে। এই টুপিটির প্রান্তে একটি বৃত্তাকার স্কেল E আছে এবং চোঙের গায়ে F রেখা বরাবর রৈখিক স্কেল F আছে। F রেখাকে মান-রেখা (line of reference) বলে। স্ক্রুর পর পর দুইটি দাঁতের দূরত্বকে থাক (pitch) বলে। F স্কেলের অঙ্ক স্ক্রুর পূর্ণ ঘূর্ণনের সংখ্যা নির্দেশ করে। E স্কেলের অঙ্ক একটি ঘূর্ণনের ভগ্নাংশ নির্দেশ করে। E স্কেলের একটি পূর্ণ ঘূর্ণন Bএর প্রান্তকে স্ক্রুর একটি থাকের দূরত্ব সরাইয়া লইয়া যায়। মনে রাখিবে টুপিটি বৃত্ত পথে ঘোরে আর স্ক্রুটি সরল রেখা পথে সরিয়া যায়। H টুপি ঘুরাইয়া সূক্ষ্ম মাপ গ্রহণ করা হয়।

ব্যবহার—(ক) F স্কেলের ক্ষুদ্রতম অংশের মান কোন নির্দিষ্ট স্কেলের সহিত তুলনা করিয়া বাহির কর। (খ) E স্কেলকে একবার সম্পূর্ণ ঘুরাইয়া স্ক্রুর থাক বাহির কর। এই দূরত্বকে E স্কেলের মোট অংশের সংখ্যা দিয়া ভাগ করিলে ভাগফলকে ***নিম্নতম ধ্রুবক*** (Least Count) বলা হয়। (গ) A ও B দণ্ডের প্রান্তদ্বয় মুখোমুখি লাগিয়া থাকিলে E ও F স্কেলের শূন্য চিহ্ন মিলিয়া যাইবে। এইরূপ না মিলিলে শূন্য-ভুল (zero error) সংশোধন করিয়া লইতে হয়। (ঘ) A ও B এর মধ্যে কোন পদার্থ যেমন সরু তার রাখিয়া টুপি ঘুরাইয়া যাও যতক্ষণ না B এর প্রান্ত পদার্থকে স্পর্শ করে। F স্কেলের শেষ দৃষ্ট অংক পড়। মনে কর ইহা K। E স্কেলের যে অঙ্ক মান-রেখার সহিত মিলিয়া যায় তাহা পড়। মনে কর ইহা M ∴ তারের ব্যাস = K + M × ধ্রুবক ± শূন্য-ভুল।

১২। **ক্ষেত্রফলের (area) মাপ :** ক্ষেত্রফলের দুইটি মাত্রা (dimension) থাকে অর্থাৎ দুই দিকের মাপ লইতে হয় : যথা দৈর্ঘ্য × প্রস্থ।

(ক) জ্যামিতিক আকার বিশিষ্ট তলের ক্ষেত্রফল :—

আয়তক্ষেত্রের (Rectangle) ক্ষেত্রফল		= দৈর্ঘ্য × প্রস্থ
বর্গক্ষেত্রের (Square)	"	= দৈর্ঘ্য × দৈর্ঘ্য
ত্রিভুজের (Triangle)	"	= $\frac{1}{2}$ × ভূমিরেখা × উন্নতি (altitude)
সামান্তরিকের (Parallelogram)	"	= যে কোন বাহু × উন্নতি

বৃত্তের (Circle) ক্ষেত্রফল $= \pi \times$ ব্যাসার্ধ ^{2} (πr^2)
গোলকের (Sphere) উপরতলের „ $= 4\pi \times$ ব্যাসার্ধ ^{2}
চোঙের (Cylinder) „ $= \pi \times$ ব্যাস $\times$ দৈর্ঘ্য।

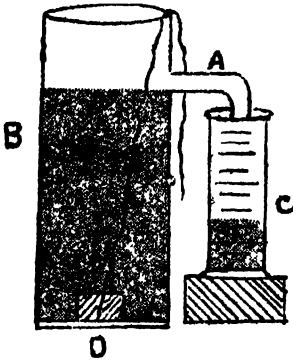
(খ) আকারহীন পদার্থের ক্ষেত্রফল দুই উপায়ে বাহির করা যায়:—তলটিকে সুবিধাজনক কতকগুলি ত্রিভুজ, বৃত্ত, কিংবা আয়তক্ষেত্রে ভাগ করিয়া তাহাদের পৃথক ক্ষেত্রফল উপরোক্ত উপায়ে বাহির করিয়া ক্ষেত্রফলগুলি যোগ কর। (গ) ছক কাগজের উপর ফেলিয়া পদার্থের সীমানা আঁক। পদার্থ বড় হইলে (যেমন কোন দেশের ক্ষেত্রফল) কোন স্কেল অনুযায়ী ছক কাগজে সীমানা আঁক। সীমানার মধ্যে পূর্ণ বর্গক্ষেত্রের সংখ্যা ঠিক কর। প্রত্যেক বর্গক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল দিয়া সংখ্যাকে গুণ করিলে গুণফল পদার্থের ক্ষেত্রফল হইবে।

১৩। **আয়তনের মাপ:** আয়তনের তিনটি মাত্রা থাকে, যথা দৈর্ঘ্য $\times$ প্রস্থ $\times$ উচ্চতা $=$ আয়তন। (ক) জ্যামিতিক আকারবিশিষ্ট দ্রব্যের আয়তন:—

Parallelopiped এর আয়তন $=$ দৈর্ঘ্য $\times$ প্রস্থ $\times$ উচ্চতা
ঘনকের (Cube) „ $=$ দৈর্ঘ্য ^{3}
চোঙের বা প্রিজমের (Cylinder, Prism) $=$ এক প্রান্তের ক্ষেত্রফল $\times$ দৈর্ঘ্য
গোলকের (Sphere) „ „ $= \frac{4}{3}\pi \times$ ব্যাসার্ধ ^{3}
পিরামিড বা শঙ্কুর (Pyramid বা Cone) „ $= \frac{1}{3} \times$ ভূমির ক্ষেত্রফল $\times$ উচ্চতা

(খ) **জ্যামিতিক আকারহীন** (irregular) **কঠিন দ্রব্যের** আয়তন নিম্নলিখিত উপায়ে বাহির করা হয়:—

(১) **তরল পদার্থের অপসরণ দ্বারা:** (ক) একটি এমন তরল পদার্থ বাছিয়া লও যাহাতে কঠিন পদার্থটি দ্রবীভূত হয় না বা ইহার সহিত কোন প্রকার রাসায়নিক ক্রিয়া হয় না। একটি অংশাঙ্কিত (graduated) চোঙের খানিকটা তরল পদার্থে ভর্তি কর। তরল পদার্থের তলের অবস্থান লিখিয়া রাখ। এখন কঠিন পদার্থ সম্পূর্ণরূপে তরল পদার্থের মধ্যে ডুবাইয়া দাও। তরল পদার্থের তলের অবস্থান উপরে উঠিবে। এই অবস্থান লিখ। দুই অবস্থানের পার্থক্য $=$ অপসৃত (displaced) তরল পদার্থের আয়তন $=$ কঠিন পদার্থের আয়তন।

(খ) উপর প্রান্তের কাছাকাছি পার্শ্বে A নল যুক্ত একটি দীর্ঘ চোঙ B লও। চোঙটি নল পর্যন্ত তরল পদার্থে পূর্ণ কর। কঠিন পদার্থটি (D) তরল পদার্থে ডুবাইয়া দাও। পার্শ্বস্থিত নল দিয়া খানিকটা তরল বাহির হইয়া যাইবে। এই তরল একটি দাগ-কাটা চোঙে (C) সংগ্রহ কর। ইহার আয়তন দেখ। অপসৃত তরল পদার্থের আয়তন = কঠিন পদার্থের আয়তন। (৫ম চিত্র)

৫ নং চিত্র।

(২) আর্কিমিদিস সূত্রানুসারে ওজন করিয়া আয়তন বাহির করা হয়। (পরে দ্রষ্টব্য)

(গ) তরল পদার্থের আয়তন বিভিন্ন মাপিবার পাত্রে (যথা পিপেট, বিউরেট, অংশাঙ্কিত চোঙ) ঢালিয়া মাপা হয়।

১৪। ভরের মাপ বিভিন্ন প্রকার তুলার দ্বারা লওয়া হয়, যথা সাধারণ তুলা (Common Balance), স্প্রীং-তুলা (Spring Balance)।

১৫। সময়ের মাপ বিভিন্ন প্রকার ঘড়ির দ্বারা লওয়া হয়, যথা সাধারণ ঘড়ি, Chronometer ঘড়ি (ঠিক সময় নির্দেশক ঘড়ি), Stop-ঘড়ি (ইহাকে ইচ্ছামত থামান বা চালান যায়), Metronome (ইহার দ্বারা এক সেকেণ্ডের ভগ্নাংশ সূক্ষ্মভাবে জানা যায়)।

১৬। **কৌণিক মাপ:** এক সমকোণ = ৯০° (ডিগ্রী), ১° = ৬০′ (মিনিট), ১′ = ৬০″ (সেকেণ্ড)। ব্যাসার্ধের সমান চাপ (arc) দ্বারা কেন্দ্রে যে কোণ উৎপন্ন হয় তাহাকে **রেডিয়ান** (Radian) বলে। ২π রেডিয়ান = ৩৬০°;

১ রেডিয়ান = $\frac{৩৬০}{২\pi}$ = ৫৭.২৯৫৪°

প্রশ্ন

1. Define mass, volume and density. State the relation that exists among them. (C U. 1929; D. U. 1932)

2. Classify the Science of Physics. What is the difference between matter and energy?

3. How do you find the volume of a solid of irregular shape ?
(C. U. 1917, 1929 ; D. U. 1932)
4. Which are Fundamental and Derived Units ? (Pat. U. 1930)
5. The area of a sphere is 200sq. cm. Find its radius.
6. Calculate the area of the surface of the earth taking 2r = 8000 miles

গতি (Motion)

১৭। **স্থিতি** (Rest) ও **গতি** (Motion) : যখন কোন দ্রব্য একই জায়গায় থাকিয়া অন্য কোন নির্দিষ্ট স্থির দ্রব্যের সহিত যে কোন সময়ে অবস্থানের কোন পরিবর্তন করে না তখন দ্রব্যের এই অবস্থাকে **স্থিতি** বলে। যখন দ্রব্যটি উপরোক্ত অবস্থায় স্বীয় অবস্থানের পরিবর্তন করে তখন তাহার এই অবস্থাকে **গতি** বলা হয়। স্থিতি ও গতি **আপেক্ষিক** (relative) বা **চরম** (absolute) হইতে পারে। গতির সম্পূর্ণ অভাবকেই চরম স্থিতি বলে কিন্তু পৃথিবী, সূর্য, নক্ষত্র প্রভৃতি প্রত্যেক জ্যোতিষ্কই গতিশীল। অতএব পৃথিবীর উপর সকল দ্রব্যই গতিশীল, সুতরাং চরম স্থিতির সহিত আমরা পরিচিত নহি। সেইরূপ কোন সম্পূর্ণ স্থির দ্রব্যের সহিত অবস্থান্তর সংঘটনই চরম গতি কিন্তু গতিশীল ব্রহ্মাণ্ডে কোন দ্রব্যই সম্পূর্ণ স্থির নহে সেইজন্য চরম গতির সহিতও আমরা পরিচিত নহি।

কোন দ্রব্যের চতুর্দিকস্থ অন্যান্য আপাত স্থির দ্রব্যের সহিত অবস্থানের অপরিবর্তনকে **আপেক্ষিক স্থিতি** বলা হয় এবং কোন দ্রব্যের অন্য আপাত স্থির দ্রব্যের সহিত অবস্থানান্তর সংঘটনকে **আপেক্ষিক গতি** বলা হয়। চলন্ত ট্রেণের যাত্রী ট্রেণের বেঞ্চ, জানালার সম্পর্কে স্থিতিশীল থাকে কিন্তু পার্শ্ববর্তি গাছপালা, বাড়ীঘর সম্পর্কে গতিশীল থাকে। একই গতিতে একই দিকে দুইখানি ট্রেণ পাশাপাশি চলিলে উহারা পরস্পরের সম্পর্কে স্থিতিশীল প্রতীয়মান হইবে কিন্তু পার্শ্বে দণ্ডায়মান কোন ব্যক্তির নিকট উভয় ট্রেণই গতিশীল হইবে। সাধারণতঃ আমরা পৃথিবীকে স্থির ধরিয়া অন্যান্য দ্রব্যের আপেক্ষিক গতি ও স্থিতি উল্লেখ করি।

১৮। **গতির প্রকার ভেদ ঃ** গতি দুই প্রকার : (ক) **অপস্থয়মান (Translatory) গতি :** যখন কোন দ্রব্য এক স্থান হইতে অন্য স্থানে সরিয়া যায় তখন এই গতিকে অপস্থয়মান গতি বলে। এইরূপ গতিশীল দ্রব্যের বিভিন্ন অংশের বেগ (Velocity) সমান হয় এবং গতিপথ পরস্পর সমান্তরাল হয়। এইরূপ গতিশীল দ্রব্য সোজাপথে কিংবা বক্রপথে চলিতে পারে। ঢিলের পতন, সোজাপথে ট্রেণের দ্রুত গমন—এইরূপ গতির দৃষ্টান্ত। (খ) **ঘূর্ণ্যমান (Rotatory) গতি**—যখন কোন দ্রব্য কোন নির্দিষ্ট বিন্দুর বা অক্ষের (axis) চারিদিকে বৃত্তাকারে ঘোরে তখন ইহার গতিকে **ঘূর্ণ্যমান** গতি বলে। এইরূপ গতিশীল দ্রব্যের বিভিন্ন অংশের গতি বিভিন্ন হয়। চাকার গতি, গ্রহের গতি, লাটিমের ঘূর্ণন এইরূপ গতি। মাটির উপর বলের গতি, সূর্যের চারিদিকে ও মেরুদণ্ডের চারিদিকে গ্রহের গতি উভয় প্রকার গতির মিশ্রণ।

১৯। **গতি সম্পর্কীয় সংজ্ঞা** (Definition) : (ক) **সরণ** (Displacement) : কোন গতিশীল দ্রব্যের একটি নির্দিষ্ট সময়ে অবস্থানের পরিবর্তনকে **সরণ** বলে। অপস্থয়মান গতির ক্ষেত্রে প্রথম ও শেষ অবস্থানের মধ্যে সরল রৈখিক দূরত্ব দ্বারা এবং ঘূর্ণ্যমান গতির ক্ষেত্রে প্রথম ও শেষ অবস্থানের মধ্যে কৌণিক দূরত্ব দ্বারা সরণ মাপা হয়।

সরণের **পরিমাণ** (magnitude) ও **অভিমুখ** (direction) থাকে। একটি মানুষ ৩ গজ সোজা দক্ষিণে যাইয়া পরে ৪ গজ সোজা পশ্চিমে যায়। মানুষটির গতিপথ (৩+৪=) ৭ গজ হইল কিন্তু সরণ $\sqrt{৩^২+৪^২}=\sqrt{২৫}=৫$ গজ দক্ষিণ-পশ্চিম হইবে।

(খ) **দ্রুতি** (Speed) : গতিশীল দ্রব্যের অবস্থানের পরিবর্তনের হারকে **দ্রুতি** বলে। একক সময়ে (এক সেকেণ্ডে) অতিক্রান্ত বক্র বা সোজাপথের দৈর্ঘ্য হইল দ্রুতির মাপ। যদি t সময়ে d পথ অতিক্রান্ত হয় তবে

দ্রুতি $S=\frac{d}{t}$ ......(২)

(গ) **বেগ** (Velocity) : কোন বিশেষ অভিমুখে গতিশীল দ্রব্যের অবস্থানের পরিবর্তনের হারকে **বেগ** বলে। দ্রুতি গতির কেবল পরিমাণ

উল্লেখ করে কিন্তু বেগ গতির পরিমাণ ও অভিমুখ দুইই উল্লেখ করে। কোন নির্দিষ্ট দিকে দ্রুতির নামই বেগ। ঘড়ির কাঁটা বৃত্তপথে ঘোরে এবং একই সময়ে একই পথ অতিক্রম করে। সমস্ত পথে কাঁটার দ্রুতি একই হইবে কিন্তু কাঁটার বেগ প্রতিমুহূর্তে বদলাইবে। কারণ প্রতি মুহূর্তে কাঁটার দিক বদলায়। সরল রেখার দৈর্ঘ্য দ্বারা বেগের পরিমাণ ও তীর চিহ্ন দ্বারা অভিমুখ প্রকাশ করা হয়।

(ঘ) **সম (Uniform) বেগঃ** সময়ের ব্যবধান যতই অল্প হউক না কেন কোন দ্রব্য একই সময়ের ব্যবধানে একই দিকে একই পথ অতিক্রম করিলে ইহার বেগকে **সম বেগ** বলে। যদি দ্রব্যের সম বেগ v হয় এবং t সময়ে ইহা s পথ অতিক্রম করে তবে $v = s/t$। যদি দ্রব্যটি একই সময়ের ব্যবধানে অসমান পথ অতিক্রম করে তবে বেগকে **অসম** বা **পরিবর্তনীয়** (Variable) বেগ বলে।

$$\text{কোনও সময়ে গড় বেগ} = \frac{\text{মোট দূরত্ব}}{\text{মোট সময়}}$$

F. P. S. প্রণালীতে প্রতি সেকেণ্ডে এক ফুট গতি, C. G. S. প্রণালীতে প্রতি সেকেণ্ডে এক সেণ্টিমিটার গতি বেগের একক।

(ঙ) **ত্বরণ (Acceleration):** ক্রম বর্ধমান বেগের পরিবর্তনের হারকে **ত্বরণ** বলে। বেগের ন্যায় ত্বরণের পরিমাণ ও অভিমুখ আছে এবং ইহা সরল রেখা দ্বারা প্রকাশ করা যায়। সমবেগের কোন ত্বরণ থাকে না।

t সময়ের প্রথমে ও শেষে যদি কোন দ্রব্যের বেগ u ও u' হয় তবে

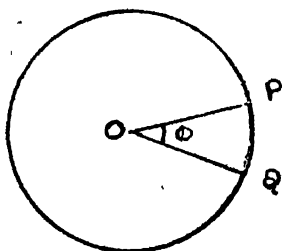
$$\text{ত্বরণ } f = \frac{u' - u}{t} \quad \text{.........(৩)}$$

$$\text{বেগ} = \frac{\text{অতিক্রান্ত পথ}}{\text{সময়}}, \quad \text{ত্বরণ} = \frac{\text{বেগের বাড়তি}}{\text{সময়}} \quad \therefore \text{ত্বরণ} = \frac{\text{অতিক্রান্ত-পথ}}{\text{সময়} \times \text{সময়}}$$

অতএব ত্বরণে সময়ের একক দুইবার লিখিতে হয়। একই সময়ের ব্যবধানে বেগের পরিবর্তনের হার সমান হইলে ত্বরণকে **সম** বলে। একটি দ্রব্য প্রথম সেকেণ্ডে ১০ ফুট, দ্বিতীয় সেকেণ্ডে ১২ ফুট, তৃতীয় সেকেণ্ডে ১৪ ফুট বেগ সম্পন্ন হইলে প্রতি সেকেণ্ডে বেগ ২ ফুট করিয়া বাড়িয়া যায়। বেগের পরিবর্তনের হার

বা ত্বরণ ২ ফুট/সেকেণ্ড² হইবে। এখানে ত্বরণ সম (uniform) হইয়াছে। F. P. S প্রণালীতে এক ফুট প্রতি সেকেণ্ড², C. G. S প্রণালীতে এক সেন্টিমিটার প্রতি সেকেণ্ড² ত্বরণের একক।

(চ) **মন্দন (Retardation):** ক্রম হ্রসমান বেগের পরিবর্তনের হারকে মন্দন বলে। ইহা ঋণাত্মক (negative) ত্বরণ। প্রতি সেকেণ্ডে বেগ ২ ফুট কমিলে মন্দন = −২ ফুট/সেকেণ্ড²। ট্রেণ যখন চলিতে আরম্ভ করে তখন বেগের পরিবর্তনের হার হয় ত্বরণ; ট্রেণ যখন থামে তখন বেগের পরিবর্তনের হার হয় মন্দন। ঊর্ধে উৎক্ষিপ্ত ঢিলের বেগের পরিবর্তনের হার হয় মন্দন; নিম্নে নিক্ষিপ্ত ঢিলের বেগের পরিবর্তনের হার হয় ত্বরণ।

(ছ) **কৌণিক বেগ (Angular Velocity):** যদি কোন কণিকা (particle) P সম বেগে বৃত্তপথে পরিভ্রমণ করে তবে একক সময়ে কণিকা ও কেন্দ্র সংযোজক ব্যাসার্ধ OP কেন্দ্রে যে কোণ উৎপন্ন করে তাহাই কণিকার কৌণিক বেগ। কৌণিক বেগ ω চিহ্ন দ্বারা সূচিত হয়। যদি কোন দ্রব্য t সময়ে ϕ° কোণ উৎপন্ন করে তবে $\omega = \phi/t^{\circ}$ ডিগ্রি প্রতি সেকেণ্ডে···(৪)। ইহা সাধারণতঃ রেডিয়ান দ্বারা প্রকাশিত হয়। ৩৬০° = ২π রেডিয়ান। যদি সম সময়ের ব্যবধানে সম পরিমাণ রেডিয়ান কোণ উৎপন্ন হয় তবে কৌণিক বেগ সমান হয়।

৬ নং চিত্র

দ্রব্যটি একবার বৃত্তপথে ঘুরিলে কেন্দ্রে ৩৬০° বা ২π রেডিয়ান কোণ উৎপন্ন হয়। যদি একবার পূর্ণ ঘূর্ণনের সময় T হয় তবে $\omega T = 2\pi$ বা $\omega = \frac{2\pi}{T}$ রেডিয়ান। প্রতি সেকেণ্ডে যদি ঘূর্ণনের সংখ্যা n হয় তবে $\omega = 2\pi n$,

মনে কর ৬ নং চিত্রে—গতিশীল কণিকার কোন সময়ের অবস্থান হইল P এবং এক সেকেণ্ডে ইহা Qতে সরিয়া যায়।

$$\text{কৌণিক বেগ} = P O Q \text{ কোণে রেডিয়ানের সংখ্যা} = \frac{\text{চাপ } PQ}{OP \text{ ব্যাসার্ধ}} = \frac{\text{চাপ } PQ}{R}$$

(জ) **কৌণিক বেগ ও রৈখিক (linear) বেগ:** বিন্দুটি এক সেকেণ্ডে

PQ বৃত্তাংশ রচনা করে, উহাই হইল রৈখিক বেগ v ∴ কৌণিক বেগ $\omega = \frac{v}{r}$ রেডিয়ান প্রতি সেকেণ্ডে ∴ $v = r\omega$. অতএব কেন্দ্র হইতে কোন কণিকার যত দূরত্ব বাড়ে ইহার রৈখিক বেগ তত বাড়ে।

অঙ্ক। একটি বিন্দু মিনিটে ৩০০ বার ঘোরে। বিন্দুর কৌণিক বেগ কত? ব্যাসার্ধ ৪ ফুট হইলে রৈখিক বেগ কত? (C. U. 1942)

এক মিনিটে বিন্দুটি ৩০০ × ২π = ৬০০π রেডিয়ান কোণ ঘোরে

∴ কৌণিক বেগ-ω = $\frac{৬০০\pi}{৬০}$ = ১০π রেডিয়ান প্রতি সেকেণ্ডে।

∴ রৈখিক বেগ = ৪ × ১০ × $\frac{২২}{৭}$ = ৪০π = ১২৫·৭১৪ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে।

২০। **গতি সম্পর্কীয় সমীকরণ** (Equation of Motions) :—

কোন বস্তু সরল রেখায় চলিতে থাকিলে তাহার বেগ, দ্রুতি, সময়, ত্বরণ ও গতিপথের সম্পর্ক নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা সূচিত হয়। এই সমীকরণগুলি গ্যালিলিও রচনা করেন। মনে কর কোন বস্তুর t সময়ের প্রথমে বেগ = u, ত্বরণ = f, t সময়ের শেষে বেগ = v এবং t সময়ে অতিক্রান্ত পথের দৈর্ঘ্য = s.

(ক) **সমবেগ সম্পন্ন গতি :** বস্তুটি প্রত্যেক একক সময়ে u একক দীর্ঘ পথ অতিক্রম করে। অতএব t সময়ে বস্তুটি যদি s পথ অতিক্রম করে তবে $s = u \times t$ ......(৫) এখানে কোন ত্বরণ নাই।

(খ) **সম ত্বরণ f সম্পন্ন গতি :** প্রাথমিক বেগ = u এবং সম (uniform) ত্বরণ = f. অতএব প্রত্যেক একক সময়ে বেগ f দ্বারা বাড়িয়া যাইতেছে, t সময়ে বেগ $f \times t$ বাড়িয়া যায়, অতএব t সময়ের পর বস্তুটির বেগ $v = u + ft$ ......(৬)

∴ $f = \frac{v-u}{t}$ অথবা ত্বরণ = $\frac{\text{বেগের বাড়তি}}{\text{সময়ের ব্যবধান}}$ ......(৬ক)

(গ) **t সময়ে অতিক্রান্ত পথ :**

t সময়ের প্রথম সেকেণ্ডের শেষে বেগ = $u + f$.

t সময়ের শেষ সেকেণ্ডের আগের সেকেণ্ডের শেষের বেগ = $v - f$.

$\therefore$ t সময়ের প্রথমের ও শেষের গড় বেগ $=\frac{(u+f)+(v-f)}{2}=\frac{u+v}{2}$

ত্বরণ যখন সমান তখন বস্তুটি t সময়ে এই গড় বেগ সম্পন্ন বলিয়া ধরা যাইতে পারে। অতএব t সময়ে অতিক্রান্ত পথ $s=$ গড় বেগ $\times t=$

$$=\frac{u+v}{2}\times t=\frac{u+u+ft}{2}\times t=\frac{2ut+ft^2}{2}=ut+\tfrac{1}{2}ft^2. \quad \cdots\cdots(৭)$$

(৬) হইতে......$v^2=(u+ft)^2=u^2+2uft+f^2t^2=u^2+2f(ut+\frac{1}{2}ft^2)$

(৭) হইতে......$v^2=u^2+2fs.$ ......(৮) ($\because$ $ut+\frac{1}{2}ft^2=s$).

(ঘ) **কোন নির্দিষ্ট সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত পথ :** মনে কর t^{th} সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত পথ $=S_t=t$ সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত পথ $-(t-1)$ সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত পথ

$$=(ut+\tfrac{1}{2}ft^2)-\{u(t-1)+\tfrac{1}{2}f(t-1)^2\}$$
$$=ut+\tfrac{1}{2}ft^2-ut+u-\tfrac{1}{2}ft^2+ft-\tfrac{1}{2}f$$
$$=u+ft-\tfrac{1}{2}f=u+\frac{(2t-1)}{2}f\ldots\ldots(৯)$$

(ঙ) যদি বস্তুটি স্থির অবস্থা হইতে চলিতে আরম্ভ করে তবে $u=0$, এবং

$v=ft,\quad s=\frac{1}{2}ft^2,\quad v^2=2fs,\quad S_t=\frac{2t-1}{2}f.$

(চ) যদি মন্দন $=-f$ তবে $v=u-ft,\ s=ut-\frac{1}{2}ft^2,\ v^2=u^2-2fs,$

$$S_t=u-\frac{2t-1}{2}f.$$

অঙ্ক : (১) একটি বস্তু ঘণ্টায় ৯০ মাইল বেগে চলিতে আরম্ভ করে এবং $-$২২ ফুট প্রতি সেকেণ্ড² মন্দনে চলিতে থাকে। (i) ৪ সেকেণ্ড পরে উহার বেগ কত? (ii) কতক্ষণ পরে এবং (iii) কত পথ চলার পর উহা থামিবে?

$u=$ ঘণ্টায় ৯০ মাইল $=\frac{৯০\times১৭৬০\times৩}{৬০\times৬০}=$ ১৩২ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে,

$f=-$২২ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে²

(i) $v=u+ft=$ ১৩২ $-$ ২২ $\times$ ৪ $=$ ১৩২ $-$ ৮৮ $=$ ৪৪ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে।

(ii) মনে কর t সেকেণ্ড পরে উহা থামিবে ; অতএব $0 = ৫২৮ - ২২ \times t$

$$\therefore\ t = \frac{৫২৮}{২২} = ২৪ \text{ সেকেণ্ড।}$$

(iii) মনে কর s পথ অতিক্রম করার পর উহা থামিবে।

$s = ৫২৮ \times ২৪ - \frac{১}{২} \times ২২ \times ২৪^২ = ৬৩৩৬$ ফুট

(২) একটি বস্তু ৫০ ফুট পথ চতুর্থ সেকেণ্ডে এবং ৭০ ফুট পথ অষ্টম সেকেণ্ডে অতিক্রম করে। উহার প্রাথমিক বেগ সম ও ত্বরণ কত ?

মনে কর প্রাথমিক বেগ $= u$, সম ত্বরণ $= f$ প্রতি সেকেণ্ড^২

$\therefore$ (৯) অনুসারে $৫০ = u + \frac{২ \times ৪ - ১}{২} f. = u + \frac{৭}{২} f \cdots\cdots$(ক)

$$৭০ = u + \frac{২ \times ৮ - ১}{২} f = u + \frac{১৫}{২} f \cdots\cdots\cdots(খ)$$

(ক) ও (খ) হইতে $f = ৫$ ফুট/সেকেণ্ড^২ ; $u = ৩২\cdot৫$ ফুট।

(৩) কোন ট্রেণ ঘণ্টায় ৬০ মাইল চলিলে তার বেগ কত ?

$$\text{বেগ} = \frac{৬০ \times ১৭৬০ \times ৩}{৬০ \times ৬০} = ৮৮ \text{ ফুট, প্রতি সেকেণ্ড।}$$

(৪) একটি ট্রেণ ৩০০ ফুট ২ সেকেণ্ডে যায়, সম ত্বরণ যদি ২ ফুট/সেকেণ্ড^২ হয় তবে ইহার u কত ?

$s = ৩০০$ ফুট, $t = ২$ সেকেণ্ড, $f = ২$ ফুট সেকেণ্ড^২, u কত ?

$৩০০ = ২ \times u + \frac{১}{২} \times ২ \times ২^২ = ২u + ৪ \quad \therefore\ u = ১৪৯$ ফুট/সেকেণ্ড

(৫) একটি বলকে ৯৮১ সেঃ মিঃ/সেকেণ্ড প্রাথমিক বেগে উপরের দিকে নিক্ষেপ করা হইল। কত দূর উহা উঠিবে ?

মনে কর বলটি উপরে s দূর উঠিয়া থামিয়া যাইবে তখন $v = 0$,

$u = ৯৮১$ সেঃ মিঃ/সেকেণ্ড, $v = 0$, $f = g = -৯৮১$/সেকেণ্ড^২ হইলে s কত ?

$v^২ = u^২ + ২fs \quad \therefore\ ০ = (৯৮১)^২ \times ২(-৯৮১) \times s$

$$\therefore\ s = \frac{৯৮১ \times ৯৮১}{২ \times ৯৮১} = ৪৯০\cdot৫ \text{ সেঃ মিঃ}$$

২

২১। যে রাশির শুধু পরিমাণ (magnitude) থাকে তাহাকে Scalar রাশি বলে, যথা সময়, ভর, ক্রুতি। যে রাশির পরিমাণ ও অভিমুখ দুইই থাকে তাহাকে Vector রাশি বলে, যথা বেগ, ত্বরণ, ওজন। প্রত্যেক Vector রাশির পরিমাণ সরল রেখার দৈর্ঘ্য দ্বারা ও অভিমুখ তীর চিহ্ন দ্বারা প্রকাশিত হয়।

২২। **বেগের সমীকরণ** (Composition of Velocities)—যদি কোন বস্তুর একসঙ্গে একাধিক পৃথক বেগ থাকে তবে উহাদের মিলিত ফলে হয় বস্তুটি স্থির থাকে, না হয় উহা এক নূতন বেগে চলিতে থাকে। একাধিক বেগের মিলিত ফলে উদ্ভুত নূতন বেগকে **লব্ধি** (Resultant) **বেগ** বলে। একাধিক বেগকে **উপাদান** বা **উপাংশ** (Component) **বেগ** বলে।

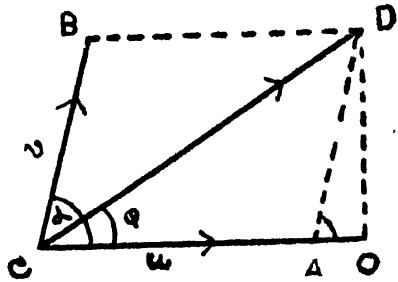
২৩। **একাধিক বেগের লব্ধি**—এই লব্ধি নিম্নলিখিত প্রকার হইতে পারে :—

(ক) যদি কোন বস্তুর একই অভিমুখে সরল রেখাক্রমে একাধিক বেগ থাকে তবে লব্ধি বেগ হইবে একই অভিমুখে উহাদের যোগফল। (খ) যদি একাধিক বেগ সরলরেখাক্রমে পরস্পর ঠিক বিপরীত অভিমুখে হয় তবে লব্ধি বেগের পরিমাণ উহাদের বিয়োগফল হইবে এবং উহার অভিমুখ বৃহত্তম বেগের অভিমুখ হইবে।

(গ) **বেগের সামান্তরিক সূত্র** (Law of Parallelogram of Velocities): যদি বেগগুলি পরস্পর ঝুঁকিয়া (inclined) থাকে তবে সামান্তরিক সূত্রানুসারে উহাদের লব্ধি পাওয়া যায়। সূত্রটি এইরূপ :—

যদি কোন কণিকার যুগপৎ দুইটি বেগ থাকে এবং তাহাদের পরিমাণ ও অভিমুখ সম্পূর্ণরূপে কোন সামান্তরিকের সন্নিহিত বাহুদ্বয় দ্বারা সূচিত হয় তবে তাহাদের লব্ধির পরিমাণ ও অভিমুখ উক্ত বাহুদ্বয়ের মিলনবিন্দু হইতে অঙ্কিত সামান্তরিকের কর্ণ (diagonal) দ্বারা সূচিত হইবে।

মনে কর CA ও CB রেখা যথাক্রমে u ও v সম (uniform) বেগকে প্রকাশ করে এবং উহারা পরস্পর α কোণে থাকিয়া আছে। ACBD সামান্তরিক সম্পূর্ণ কর। মনে কর কণিকাটি CA রেখায় u বেগে

চলিতেছে এবং এই সঙ্গে CA রেখাটি v বেগে এমনভাবে চলিতেছে যাহাতে উহার C প্রান্ত CB রেখা অঙ্কিত করে। এক একক সময়ে চলন্ত কণিকাটি D অবস্থানে আসিবে। u ও v প্রত্যেকে যখন পরিমাণ ও অভিমুখে একক সময়ে একই থাকে তখন C হইতে D পর্য্যন্ত কণিকার বেগের পরিমাণ ও অভিমুখ একই থাকিবে। অতএব CD হইল কণিকাটির অতিক্রান্ত পথ অর্থাৎ সামান্তরিকের কর্ণ CD লব্ধি বেগকে প্রকাশ করিতেছে।

১নং চিত্র

জ্যামিতিক প্রমাণ (লব্ধি বেগ R বাহির করিবার প্রণালী): CAকে O পর্য্যন্ত বর্ধিত কর এবং DO লম্ব টান। লব্ধি বেগ $=$ R $=$ কর্ণ CD. মনে কর CDর অভিমুখ u বেগের সঙ্গে θ কোণ উৎপন্ন করে।

$$CD^2 = CO^2 + OD^2 = (CA + AO)^2 + OD^2 = CA^2 + AO^2 + 2CA.AO + OD^2$$

$$= CA^2 + (AO^2 + OD^2) + 2CA\ AD\cos\alpha = CA^2 + AD^2 + 2CA.AD\cos\alpha$$

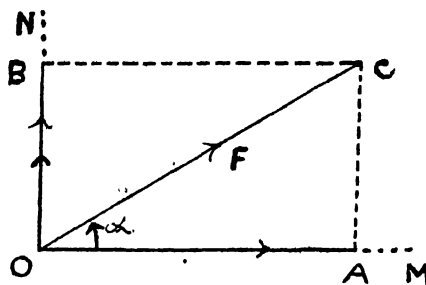
$$\therefore\quad R^2 = u^2 + v^2 + 2uv\cos\alpha.\quad (\because\ AO^2 + OD^2 = AD^2)\ldots\ldots\ldots(১০)$$

$$\tan\phi = \frac{DO}{CO} = \frac{DO}{CA+AO} = \frac{DA\sin DAO}{CA + DA\cos\alpha} = \frac{v\sin\alpha}{u + v\cos\alpha}\ldots(১১)$$

যদি দুইএর বেশী বেগ থাকে তবে পর পর এই সূত্র অবলম্বন করিয়া উহাদের একটি লব্ধি পাওয়া যায়।

(ঘ) বেগের ত্রিভুজ (Triangle of Velocities) : যদি কোন কণিকার যুগপৎ তিনটি বেগের পরিমাণ ও অভিমুখ ত্রিভুজের পর পর তিনটি বাহুর দ্বারা প্রকাশিত হয় তবে তাহাদের লব্ধি শূন্য হইবে।

২৪। বেগের বিশ্লেষণ (Resolution of Velocities) : দুইটি বেগের সম্মিলিত ফলে একটি মাত্র লব্ধি বেগ উৎপন্ন হয় কিন্তু একটি বেগকে

অসংখ্য এক জোড়া বেগে বিশ্লেষণ করা যায় কারণ এই বেগ প্রকাশক রেখাকে কর্ণ করিয়া অসংখ্য সামান্তরিক অঙ্কন করা যায়। একটি বেগকে দুইটি সমকৌণিক বেগে বিশ্লেষণ করা কার্যতঃ প্রয়োজনীয় হয়। মনে কর OC রেখা f বেগকে প্রকাশ করে। ইহাকে দুইটি সমকৌণিক অভিমুখ OM ও ON তে বিশ্লেষণ করিতে হইবে। মনে কর $\angle COM = \alpha$। C হইতে ON ও OM এর উপর যথাক্রমে লম্ব CB ও CA টান। সামান্তরিক সূত্র অনুসারে OA ও OB বিশ্লিষ্ট বেগ u ও vকে প্রকাশ করে।

৮নং চিত্র

$$OA = OC \cos \alpha, \quad OB = AC = OC \sin \alpha$$

$$\text{কিংবা} \quad u = f \cos \alpha, \quad v = f \sin \alpha \cdots\cdots (১২)$$

২৫। **আপেক্ষিক বেগ (Relative Velocity):** একটি গতিশীল দ্রব্য A এর তুলনায় অপর গতিশীল দ্রব্য B এর অবস্থানের পরিবর্তনের হারকে B এর আপেক্ষিক গতি বলে। যদি A ও B দুইটি ট্রেণ একই দিকে যথাক্রমে u ও v সমবেগে চলিতে থাকে এবং যদি v বেশী হয় তবে B এর আপেক্ষিক বেগ হবে $(v-u)$ হইবে। যদি u ও v সমান হয় তবে উহাদের আপেক্ষিক বেগ $(v-u=)$ ০ শূন্য হইবে। A ট্রেণের যাত্রী B ট্রেণকে স্থির দেখিবে। যদি উহারা বিপরীত দিকে যায় তবে আপেক্ষিক বেগ হইবে $(v+u)$.

সাধারণতঃ A-এর তুলনায় B-এর আপেক্ষিক বেগ জানিতে হইলে A-কে স্থির মনে করিয়া B-এর বেগের সহিত A-এর সমান ও বিপরীত বেগ সম্মিলিত করিয়া উহাদের লব্ধি বেগ বাহির করিতে হয়। লব্ধি বেগই আপেক্ষিক বেগ।

প্রশ্ন

1. Distinguish between motion of pure translation and of pure rotation with examples. (Pat. U. 1933)

2. Explain the terms 'absolute motion' and 'relative motion'. Which of them is important to man? Why? (Pat. U. 1930)

3. Distinguish between speed and velocity. What is angular velocity? (C. U. 1930,'33; D. U. 1937)

4 State the laws of Parallelogram of Velocities. (C. U. 1936)

5. A train travelling at the rate of 60 miles per hour is stopped at a station in 2 minutes by putting a brake; at what distance from the station was the brake put?

6. Show that when a body moves with uniform velocity in a straight line the velocities at the ends of successive seconds are in A. P. (P. U. 1927)

7. A stone is thrown vertically upwards with a velocity of 160 ft. per second from the top of a cliff 120 ft. high. How high will the stone rise above the cliff and after how long will it fall at the foot of the cliff? What will be the velocity of the stone when it is 80 ft. above the point of projection. (M. U.

(Ans. (i) 400 ft. (ii) 5·70 sec. (iii) 143·1 ft. /second.)

বল (Force)

২৬। **বল**—যাহা কোন বস্তুর উপর ক্রিয়া করিয়া বস্তুর স্থির অবস্থান বা সমগতির মান বা দিক বদলায় বা বদলাইতে চেষ্টা করে তাহাকে **বল** বলে। একটি নিশ্চল গোলক ঠেলিয়া দিলে তবে ইহা গতিশীল হয়। গতির উৎপত্তির বা পরিবর্তনের কারণ বল-প্রয়োগ। কোন বস্তুর যে বিন্দুতে বল কাজ করে তাহাকে বলের প্রয়োগ-বিন্দু (Point of application) বলে। যে কোন বলের প্রয়োগ-বিন্দু, পরিমাণ ও অভিমুখ থাকে। অতএব বল প্রয়োগ-বিন্দু হইতে অঙ্কিত সরল রেখা দ্বারা প্রকাশ করা যায়। চাপ (pressure), আকর্ষণ, বিকর্ষণ, টান (tension) সবই বলের দৃষ্টান্ত।

২৭। **নিউটনের গতি-সূত্র (Laws of Motion):** নিউটন গতির তিনটি মূল্যবান সূত্র আবিষ্কার করেন। এই সূত্রগুলি গতি-বিজ্ঞানের (Dynamics) ভিত্তি স্বরূপ। এই সূত্রগুলি প্রত্যক্ষ পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায় না।

প্রথম সূত্রে : বাহ্যিক প্রযুক্ত বল (external impressed) দ্বারা অবস্থার পরিবর্তন ঘটাইতে বাধ্য না হইলে বস্তু মাত্রেরই নিশ্চল অবস্থা বা সরল রেখাক্রমে সমবেগশীল অবস্থা অব্যাহত থাকে।

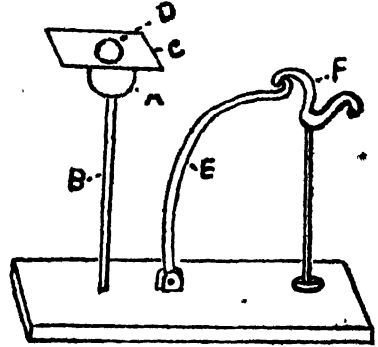
দ্বিতীয় সূত্র : কোন বস্তুর ভরবেগের (momentum) পরিবর্তনের হার প্রযুক্ত বলের সহিত সমানুপাতিক হয় এবং বল যে অভিমুখে ক্রিয়া করে ভর-বেগ সেই অভিমুখী হয়।

তৃতীয় সূত্রে : প্রত্যেক ক্রিয়ায় (action) সমান ও বিপরীত প্রতিক্রিয়ার (reaction) উদ্ভব হয়।

২৮। **প্রথম সূত্র :** প্রথম সূত্রের দুইটি অংশ; (ক) প্রথম অংশ জাড্যসূত্র (Law of inertia) বিবৃত করে: পদার্থ মাত্রই জড়তাপ্রবণ। ইহা বাহ্যিক বল ব্যতীত নিজের ক্রিয়ার দ্বারা নিজের স্থির অবস্থা বা গতির হার ও অভিমুখ বদলাইতে পারে না। ইহা একবার থামিলে নড়িতে পারে না এবং একবার চলিলে থামিতে পারে না। জাড্য দুই প্রকার যথা :—**স্থিতির জাড্য** —নিশ্চল পদার্থ চিরকালই নিশ্চল থাকিবে। **গতির জাড্য**—গতিশীল পদার্থ চিরকালই একই গতিতে একই অভিমুখে চলিতে থাকিবে। গতিশীল পদার্থের গতি বাধাহীন হইবে। কিন্তু আমরা কার্যত এইরূপ দৃষ্টান্ত দেখি না। কারণ পৃথিবীতে কোন গতিশীল পদার্থকেই বাহ্যিক বলের প্রভাব হইতে মুক্ত করা যায় না। একটি বলকে মাটিতে গড়াইয়া দিলে ইহার চিরকাল চলিবার কথা কিন্তু বায়ুর ও মাটির ঘর্ষণ বলের প্রতিরোধের জন্য ইহা কিছুক্ষণ চলিবার পর থামিয়া যায়। আকাশে জ্যোতিষ্ক কোন বাধা পায় না বলিয়া চিরকাল গতিশীল থাকে।

(খ) দ্বিতীয় অংশ **বলের সংজ্ঞা** (definition) নির্দেশ করে। পদার্থ নিজে নড়িতে পারে না। সেইজন্য উহাকে নড়াইতে বা উহার গতির হার কম-বেশী করাইতে বাহ্যিক বলের প্রয়োজন হয়। পদার্থের আভ্যন্তরীণ কোন বলের দ্বারা ইহা সম্ভব হয় না। যাহা কোন বস্তুর স্থির অবস্থান বা সমগতির অভিমুখ ও পরিমাণ বদলায় বা বদলাইতে চেষ্টা করে তাহাকে বল বলে।

স্থিতির জাড্যের দৃষ্টান্ত : (ক)—এক প্রান্তে A বাটিযুক্ত একটি দণ্ড B লও। বাটির উপর একটি শক্ত কাগজ খণ্ড C রাখ। কাগজের উপর

একটি বল D রাখ। একটি স্প্রীং E আংটা F দিয়া আটকাও। আংটাটি সরাইলে স্প্রীংটি কাগজখণ্ডকে আঘাত করিবে। কাগজ দূরে সরিয়া যাইবে কিন্তু স্থিতির জাড্যের জন্য বলটি বাটিতে পড়িবে। (৯নং চিত্র) (খ) একটি গুলি খুব বেগে জানালার কাচে আঘাত করিলে কাচের স্থিতির জাড্যের জন্য কাচে একটি ফাটলহীন গর্ত হইবে। (গ) যদি যাত্রীসহ কোন স্থির গাড়ী হঠাৎ বেগে চলিতে আরম্ভ করে তবে কোন যাত্রীর গাড়ী-সংলগ্ন দেহের নিম্নভাগ সঙ্গে সঙ্গে গাড়ীর গতি প্রাপ্ত হয় কিন্তু দেহের উপরভাগ স্থিতির জাড্যের জন্য পশ্চাৎদিকে হেলিয়া পড়ে। একই কারণে অশ্ব হঠাৎ দৌড়াইতে আরম্ভ করিলে অশ্বারোহী পশ্চাৎ দিকে পড়িয়া যায়। (ঘ) ধূলিপূর্ণ জামায় ছড়ি দিয়া আঘাত করিলে ধূলিকণা স্থিতির জাড্যের জন্য পড়িয়া যায়।

৯নং চিত্র

গতির জাড্যের দৃষ্টান্ত : (ক)—ধাবমান গাড়ী বা অশ্ব হঠাৎ থামিলে গাড়ী বা অশ্ব সংলগ্ন আরোহীর দেহের নিম্নভাগ নিশ্চল হইলেও দেহের উপরভাগ গতির জাড্যের জন্য সম্মুখ দিকে ঝুঁকিয়া পড়ে। (খ) চলন্ত গাড়ী হইতে নামিলে আমাদের পদদ্বয় মাটির সংস্পর্শে আসিয়া গতিহীন হয় কিন্তু দেহের উপরিভাগ গতির জাড্যের জন্য সম্মুখ দিকে আগাইয়া যায় ফলে আমরা গাড়ীর গতির দিকে আছাড় খাই। সেইজন্য গাড়ীর গতির দিকে মুখ করিয়া পিছনে হেলিয়া নামিলে আছাড় খাইতে হয় না। (গ) লাফ দিবার পূর্বে আমরা দৌড়াইয়া মাংসপেশীকে গতি-সম্পন্ন করি। (ঘ) চলন্ত গাড়ী হইতে উপর দিকে লম্বভাবে একটি বল নিক্ষেপ করিলে উহা গতির জাড্যের জন্য হাতেই ফিরিয়া আসে।

দ্বিতীয় সূত্র : এই সূত্র হইতে আমরা বিভিন্ন বল মাপ করিতে ও তুলনা করিতে এবং ত্বরণের সহিত বলের সম্বন্ধ নির্ণয় করিতে পারি।

(ক) ভরবেগ (Momentum) :—ভরবেগ বলিতে আমরা কোন গতিশীল

বস্তুর মোট গতির পরিমাণ বুঝি। ভর ও বেগের সমন্বয়ে গতিশীল বস্তুতে এই ধর্মের উৎপত্তি হয়। ইহা ভর ও বেগের গুণফলের সমান। যদি ভর $= m$, বেগ $= v$ হয় তবে **ভরবেগ** $= m \times v$···(১৩)। ২০০ টনের গাড়ী মিনিটে এক মাইল ছুটিলে ট্রেনের ভরবেগ $= ২০০ \times ১ = ২০০$। ভরবেগ একটি vector সংখ্যা। এক একক ভরের বস্তুর এক একক বেগ থাকিলে অর্থাৎ এক একক সময়ে এক একক দৈর্ঘ্য যাইলে বস্তুটির ভরবেগ এক একক হয়।

F. P. S প্রণালীতে এক পাউণ্ড ভরের বস্তু এক সেকেণ্ডে এক ফুট যাইলে এবং C. G. S প্রণালীতে এক গ্রাম ভরের বস্তু এক সেকেণ্ডে এক সেণ্টিমিটার যাইলে বস্তুটি যে ভরবেগ পায় তাহাই ভরবেগের একক।

(খ) **বলের মাপ** (Measurement of Force): মনে কর কোন বস্তুর ভর $= m$. P সম (constant) বল এই বস্তুর উপর t সময় ক্রিয়া করার পর বস্তুটির বেগ u হইতে vতে পরিবর্তিত হয়।

t সময়ের প্রথমে ভরবেগ $= m \times u$

" " শেষে " $= m \times v$.

$\therefore$ t সময়ে ভরবেগের পরিবর্তন $= mv - mu = m(v-u)$

$\therefore$ ভরবেগের পরিবর্তনের হার $= \dfrac{m \times (v-u)}{t} = mf$. $\left(\because f\ (\text{ত্বরণ}) = \dfrac{v-u}{t}\right)$

দ্বিতীয় সূত্র হইতে, $P \propto$ ভরবেগের পরিবর্তনের হার $\propto mf$ বা $P = K.\ mf$ (K = ধ্রুবক)

যদি বলের একক এমনভাবে মনোনীত করা যায় যে উহা একক ভরে ক্রিয়া করিয়া একক ত্বরণ উৎপন্ন করে অর্থাৎ যখন $P = 1$ তখন $m = 1$, $f = 1$ $\therefore K = 1$ এবং **$P = mf$** ······(১৪)

অর্থাৎ **বল = ভর × ত্বরণ**

(এখানে ধরা হইয়াছে যে mএর মান গতির সঙ্গে পরিবর্তিত হয় নাই, Einsteinএর মতবাদ অনুসারে mএর মান গতির সঙ্গে পরিবর্তিত হয়।)

আবার $P = \dfrac{mv - mu}{t}$ বা $P.t = mv - mu$ ······(১৪ ক)। বল ও সময়ের গুণফলকে **ঘাত** (Impulse) বলে।

যদি $u = 0$ তবে সমীকরণ (১৪ ক) হইতে **$Pt = mv$**. (১৪ খ)

(গ) **বলের একক :** বলের তিনটি সমীকরণ হইতে তিনটি একক পাওয়া যায়। যথা:—

(১) যে বল এক একক ভরে ক্রিয়া করিয়া এক একক ত্বরণ উৎপন্ন করে (সমীকরণ '৪') তাহা বলের একক। F. P. S প্রণালী অনুসারে যে বল এক পাউণ্ড ভরের উপর ক্রিয়া করিয়া এক ফুট/সেকেণ্ড² ত্বরণ উৎপন্ন করে তাহাই বলের একক। এই একককে **পাউণ্ডাল** (Poundal) বলে। C. G. S প্রণালী অনুসারে যে বল এক গ্রাম ভরের উপর ক্রিয়া করিয়া এক সেণ্টিমিটার/সেকেণ্ড² ত্বরণ উৎপন্ন করে তাহাই বলের একক। ইহাকে **ডাইন** (Dyne) বলে। ডাইন ও পাউণ্ডাল ব্রহ্মাণ্ডের সর্বত্র সমান হয়। সেইজন্য এই একক দুইটিকে **চরম** (Absolute বা Dynamical) একক বলে। P = mf সমীকরণ সত্য হয় যখন বলের একক চরম হয়। (৪৭ক অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য)

(২) যে বল এক একক স্থির ভরে এক একক সময়ে এক একক বেগ উৎপন্ন করে তাহা বলের একক (সমীকরণ ১৪ ক)

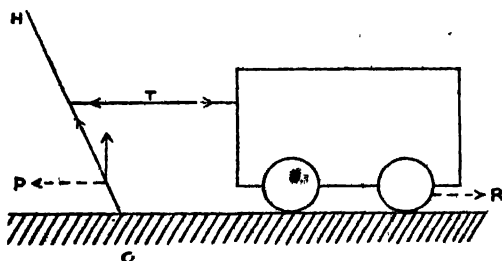
(৩) যে বল যে কোন ভরে এক একক সময়ে এক একক ভরবেগ উৎপন্ন করে তাহা বলের একক (সমীকরণ ১৪ খ)

(ঘ) **পাউণ্ডাল ও ডাইনের সম্পর্ক :** এক পাউণ্ড = ৪৫৩.৬ গ্রাম, ১ ফুট = ৩০.৪৮ সেণ্টিমিটার। ∴ ১ পাউণ্ডাল = ১ পাউণ্ড × ১ ফুট = ৪৫৩.৬ গ্রাম × ৩০.৪৮ সেণ্টিমিটার = ১৩৮২৫.৭ ডাইন। (∵ ১ ডাইন = ১ গ্রাম × ১ সেণ্টিমিটার)। ∴ পাউণ্ডাল ডাইন অপেক্ষা অনেক গুণ বেশী।

৩০। **তৃতীয় সূত্র :** এই সূত্র হইতে নিম্নলিখিত বিষয় জানা যায়:—

(ক) যখনই একটি বস্তু A অপর একটি বস্তু B এর উপর বল প্রয়োগ করিবে তখনই A ও B এর উপর সমান ও বিপরীতমুখী বল প্রয়োগ করিবে। প্রথম বলকে **ক্রিয়া** (action), দ্বিতীয় বলকে **প্রতিক্রিয়া** (Reaction) বলে। A ও B নিশ্চল বা গতিশীল থাকুক, কিংবা তাহারা পরস্পর সংস্পর্শে থাকুক বা দূরে থাকুক এই নিয়ম সর্বদাই খাটে। প্রকৃতিতে সর্বদাই ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার উদ্ভব হয়। এই পরস্পর ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়াকে **পীড়ন** (stress) বলে। সেই জন্য এই সূত্রকে Law of Reaction বা Strsss বলে।

(খ) **ভরবেগের নিত্যতা** (Conservation of Momentum) : তিশীল ব্যাট যখন গতিশীল বলকে আঘাত করে তখন বলের উপর ব্যাটের ক্রিয়া ্যাটের উপর বলের প্রতিক্রিয়ার সমান ও বিপরীতমুখী হয়। ব্যাট দ্বারা প্রদত্ত ভরবেগ বল দ্বারা প্রদত্ত ভরবেগের সমান হয় কিন্তু বিপরীতমুখী হয়। অতএব ভয়ের ভরবেগের যোগফল সমান থাকে।

(গ) **বিভিন্ন প্রকার ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া :**—(১) **ঠেল** বা **চাপ** Thrust or Pressute) :—টেবিলের উপর বই স্থির থাকিলে বই ওজনের জন্য টবিলের উপর লম্বভাবে চাপ দেয়। টেবিলও লম্বভাবে বইকে উল্টাদিকে ধাক্কা দয়। তৃতীয় সূত্রানুসারে এই চাপ ও ধাক্কা সমান হয়। কাজেই বই স্থির থাকে। ২) **টান** (Pull or Tension): সূতা দিয়া একটি ঢিল ঝুলাইয়া দাও। ঢিলের জন সূতাকে নীচের দিকে টানে। সূতা ঢিলকে সমান বলের সহিত উপর দিকে ানে। ঢিলের টানকে বলে Pull, সূতার ন্যায় সরু জিনিষের টানকে বলে Tension. (৩) **ঘোড়ার গাড়ী-টানা**—ঘোড়া যখন প্রথমে গাড়ী টানে ঘোড়ার বল ও গাড়ীর প্রতিক্রিয়া(দড়ির টান T) সমান ও বিপরীত হয় তবে গাড়ী চলে কেন? ঘোড়া গাড়ী-টানার প্রথমেই পা দিয়া মাটিতে পিছন দিকে বল প্রয়োগ করে। মনে কর এই

১০নং চিত্র

বল HG অভিমুখে ক্রিয়া করে। ইহার সমান প্রতিক্রিয়া বল GH অভিমুখে ক্রিয়া করিবে। এই প্রতিক্রিয়া বলকে দুইটি বলে বিশ্লিষ্ট করা যাইতে পারে :—(i) একটি লম্ব বল যাহা ঘোড়ার ওজনের সমান হবে। (ii) একটি অনুভূমিক বল যাহা গাড়ীকে সম্মুখ দিকে ঠেলিবে। মনে কর অনুভূমিক বল = P. আবার মাটির ঘর্ষণ প্রতিক্রিয়া চাকার উপর ক্রিয়া করিয়া গতির বাধা সৃষ্টি করিবে। মনে কর ইহা R. যতক্ষণ R অপেক্ষা P কম হইবে ততক্ষণ গাড়ী

চালবে না। ঘোড়া বেশী বল প্রয়োগ করিয়া Pকে বাড়াইলে R অপেক্ষা যখন P বেশী হইবে তখনই গাড়ী চলিবে এবং গাড়ী ও ঘোড়া উপর বল হইবে P—R.

$P-T=mf$ এবং $T-R=Mf$। এখানে m, M = ঘোড়ার ও গাড়ীর পৃথক ভর, f = দুইয়ের ত্বরণ।

(৪) **আকর্ষণ** (Attraction) ও **বিকর্ষণ** (Repulsion): এই বল দুইটি দূর হইতে ক্রিয়া করে। সূর্য ও পৃথিবী পরস্পরকে টানে।

(৫) **ঘর্ষণ** (Friction): একটি বস্তু Aর উপর দিয়া অপর একটি বস্তু B গতিশীল হইলে Aতে একটি প্রতিক্রিয়ার সৃষ্টি হয়। ইহাকে **ঘর্ষণ** বলে। হাঁটিবার সময় আমরা পা দিয়া পশ্চাৎ দিকে মাটিতে জোর দিই এবং মাটিও সম্মুখদিকে বিপরীত ঘর্ষণ প্রতিক্রিয়া প্রয়োগ করে। ইহাতে আমরা সম্মুখদিকে অগ্রসর হই। (৬) **গতিশীল পদার্থের ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া**:—(ক) নলের মধ্যে বর্ধিতায়তন গ্যাসের ধাক্কায় বন্দুকের গুলি সম্মুখ দিকে সবেগে ছুটিয়া যায় এবং গুলিও গ্যাসের উপর সমান ও বিপরীত ধাক্কা দেয়, ফলে বন্দুকটি একটু পিছনে হটিয়া যায়। ইহাকে ***পিছন-ধাক্কা*** (back-push) বলে। বন্দুকের ভরের তুলনায় গুলির ভর অনেক কম সেইজন্য বন্দুকের পিছনে হটিবার বেগ গুলির সম্মুখের বেগ অপেক্ষা অনেক কম কারণ উভয়ের ভরবেগ সমান। (খ) নৌকা হইতে মানুষ লাফাইয়া মাটিতে পড়িলে নৌকা পিছনে হটিয়া যায়। এখানে মানুষের ভরবেগ = নৌকার ভরবেগ।

অঙ্ক 1. A train of mass 175 tons has its velocity reduced from 40 miles per hour to zero per hour in 5 minutes. Calculate the value of the retarding force assuming it is uniform. What is the change in momentum? (P. U. 1925)

ট্রেণের ভর = ১৭৫ টন = ১৭৫ × ২২৪০ পাঃ

প্রাথমিক বেগ = ৪০ মাইল ঘণ্টায় = $\frac{৪০ \times ১৭৬০ \times ৩}{৬০ \times ৬০}$ = $\frac{১৭৬}{৩}$ ফিট/সেকেণ্ড

ট্রেণের ভরবেগ = ১৭৫ × ২২৪০ × $\frac{১৭৬}{৩}$ F. P. S একক। যখন বেগ = ০, তখন ভরবেগ = ০ ∴ ভরবেগের পরিবর্তন = ১৭৫ × ২২৪০ × $\frac{১৭৬}{৩}$ F. P. S একক

এই পরিবর্তনের সময় = ৫ মিঃ = ৩০০ সেঃ

∴ বল = ভরবেগের পরিবর্তনের হার

$$= \frac{১৭৫ \times ২২৪০ \times ১১৬}{৩ \times ৩০০} = ৭২৩০২\text{'}২২ \text{ পাউণ্ডাল।}$$

2. A force of 100 dynes acts upon a mass of 25 gms. for 5 seconds. What velocity does it generate? (C. U. 1934)

$$P = mf. \quad \therefore f = \frac{P}{m} = \frac{১০০}{২৫} = ৪$$

$$v = ft = ৪ \times ৫ = ২০ \text{ সেঃ মিটার/সেকেণ্ড.}$$

3. A 7 lbs. shot is fired from a gun, the mass of which is one ton, with a velocity of 1000 ft. per second. Find the initial velocity of recoil of the gun?

মনে কর প্রাথমিক বেগ $= u$। নিউটনের তৃতীয় সূত্র অনুসারে—বন্দুকের পশ্চাৎদিকে ভরবেগ গুলির সম্মুখদিকের ভরবেগের সমান ও বিপরীত হয়।

গুলির ভরবেগ = ৭ × ১০০০ ফুট পাঃ সেঃ একক। বন্দুকের ভরবেগ = ১ × ২২৪০ × u ফুট পাঃ সেঃ একক ∴ ৭ × ১০০০ = ২২৪০ × u

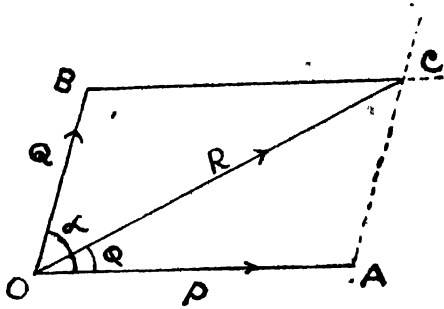
$$\therefore \quad u = \frac{৭ \times ১০০০}{২২৪০} = ৩\text{'}১২৫ \text{ ফুট/সেকেণ্ড।}$$

৩১। **বলের সমীকরণ (Composition of Forces):** (ক) যদি দুইটি বল একই দ্রব্যের উপর একই দিকে সরল রেখাক্রমে কাজ করে তবে তাহাদের লব্ধি দুই বলের যোগফল হইবে। (খ) যদি দুইটি বল বিপরীত দিকে সরল রেখাক্রমে কাজ করে তবে তাহাদের লব্ধি তাহাদের বিয়োগফল হইবে এবং লব্ধির অভিমুখ হইবে বৃহত্তর বলের অভিমুখ। (খ) যদি দুই বলের অভিমুখ কোন কোণে পরস্পর বাঁকিয়া থাকে তবে সামান্তরিক সূত্র অনুসারে লব্ধি বাহির করা হয় (২৩ (গ) অণুচ্ছেদ দেখ)। সূত্রটি এইরূপ :—

বলের সামান্তরিক সূত্র—(Law of Parallelogram of Forces): যদি কোন বিন্দুতে দুইটি বল একসঙ্গে কাজ করে এবং তাহাদের পরিমাণ ও অভিমুখ সম্পূর্ণরূপে কোন সামান্তরিকের সন্নিহিত বাহুদ্বয় দ্বারা সূচিত হয় তবে

উক্ত বাহুদ্বয়ের মিলন বিন্দু হইতে অঙ্কিত সামান্তরিকের কর্ণ সর্বতোভাবে পরিমাণ ও অভিমুখে উভয় বলের লব্ধি নির্দেশ করিবে।

জ্যামিতিক প্রমাণ: মনে কর P ও Q বল O বিন্দুতে কাজ করে। OA ও OB রেখা যথাক্রমে P ও Q বলকে প্রকাশ করে। OACB সামান্তারিক সম্পূর্ণ কর। OC কর্ণ R লব্ধি বলকে প্রকাশ করিবে।

২৩ (গ) প্রণালী অনুসরণ করিলে R পাওয়া যায়:

১১ চিত্র

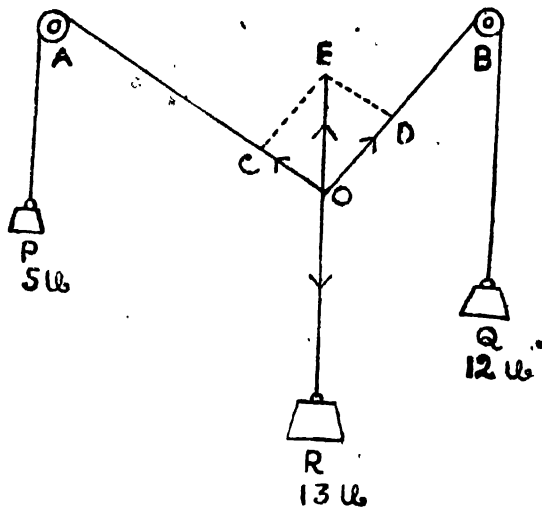
$$R^2 = P^2 + Q^2 + 2\,PQ\cos\alpha \quad (\alpha = \text{P ও Q-র মধ্যস্থিত কোণ}) \cdots (১৫)$$

$$\tan\phi = \frac{Q\sin\alpha}{P + Q\cos\alpha} \cdots (১৬) \quad (\phi = \text{R ও P-এর মধ্যস্থিত কোণ})$$

যখন বল দুইটি সমকোণে ক্রিয়া করে তখন,

$$R^2 = P^2 + Q^2, \text{ or } R = \sqrt{P^2 + Q^2}. \qquad \tan\phi = \frac{Q}{P} \cdots (১৭)$$

পরীক্ষামূলক প্রমাণ (Experimental Verification): **পরীক্ষা:** একটি কাঠের বোর্ডের উপর A ও B দুইটি হাল্‌কা মসৃণ কপিকল (pulley) আবদ্ধ আছে। বোর্ডকে দেওয়ালের গায়ে লম্বভাবে ঝুলাও। বোর্ডের উপর সাদা কাগজ আঁটিয়া দাও। তিন টুক্‌রা সুতার তিন প্রান্তে P, Q, R ওজন বাঁধ। (ইঁহাদের যে কোন দুইটির যোগফল তৃতীয়টির চেয়ে বড় হওয়া চাই)। মনে কর P = ৫ পাঃ। Q = ১২ পাঃ, R = ১৩ পাঃ। তিনটি সুতার অপর প্রান্তত্রয় দিয়া একটি গিঁট বাঁধ। মনে কর গিটের অবস্থান O বিন্দু। যে সুতা দুইটিতে P ও Q ওজন বাঁধা আছে সেই সুতা দুইটিকে A ও B কপিকলের উপর দিয়া লইয়া ছাড়িয়া দাও। দেখিবে তৃতীয় সুতাটি R ওজনকে লইয়া লম্বভাবে নীচের দিকে ঝুলিতেছে। এখন O বিন্দু P, Q, R তিনটি বলের ক্রিয়ায় স্থির

থাকে। বোর্ডের উপর সূতা বরাবর OA, OB ও OR রেখা টান। সুবিধাজনক স্কেল লইয়া (১ পাউণ্ড = ১ ইঞ্চি) OA ও OB রেখা হইতে P ও Q বলকে প্রকাশ করিবার জন্য OC ও OD মাপিয়া চিহ্ন কর। অতএব OC = ৫ ইঞ্চি, OD = ১২ ইঞ্চি। OC ও ODর গায়ে তীর চিহ্ন দিয়া বলের অভিমুখ প্রকাশ কর। OCED সামান্তরিক সম্পূর্ণ কর। OE রেখা টান। এখন মাপিয়া তিনটি

১২ চিত্র

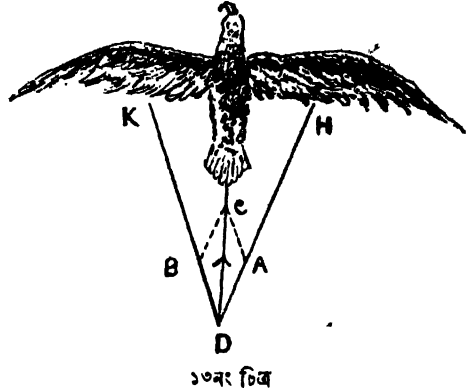
বিষয় পাইবে: (ক) কর্ণ OE লম্বভাবে অবস্থিত (খ) OE ও OR একই সরল রেখাক্রমে অবস্থিত। (গ) OEর দৈর্ঘ্য উপরোক্ত স্কেল অনুযায়ী R পাউণ্ডের সমান অর্থাৎ ১৩ ইঞ্চি।

সিদ্ধান্ত: O বিন্দু তিনটি বলের ক্রিয়ায় স্থির আছে সুতরাং P ও Qর লব্ধি বল R বলের সমান ও বিপরীতমুখী হইবে। OE রেখা R বলের পরিমাণকে প্রকাশ করে কারণ ইহা ১৩ পাউণ্ডের সমান। OE রেখার অভিমুখ ঊর্ধদিকে।

∴ P ও Qর লব্ধির পরিমাণ ও অভিমুখ কর্ণ OE দ্বারা প্রকাশিত হয়। অতএব যদি সামান্তরিকের সন্নিহিত বাহুদ্বয় দুইটি বলের পরিমাণ ও অভিমুখ প্রকাশ করে তবে সামান্তরিকের কর্ণ পরিমাণ ও অভিমুখে উহাদের লব্ধি প্রকাশ করিবে।

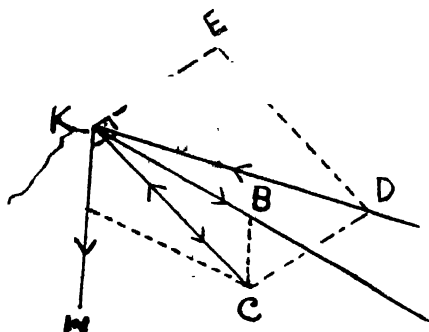
উদাহরণ : (১) একটি নৌকাকে দুই তীর হইতে দুইটি দড়ি দিয়া টানিলে নৌকা নদীর মাঝপথ দিয়া যাইবে। (২) উড়ন্ত পাখী তাহার দুইটি ডানা K ও H দিয়া বাতাসকে আঘাত করে এবং বাতাসও ডানাতে দুইটি প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে। প্রতিক্রিয়ার লব্ধি পাখীকে বাতাসে উড়িয়া যাইতে সাহায্য করে। পাখী যে কোন ডানার মাংসপেশীতে কম-বেশী জোর দিয়া বাতাসের প্রতিক্রিয়ার তথা লব্ধির অভিমুখ বদলাইয়া

১৩নং চিত্র

পাখী যে কোন দিকে উড়িতে পারে। DA ও DB রেখা প্রতিক্রিয়াকে প্রকাশ করিলে কর্ণ DC লব্ধিকে প্রকাশ করিবে।

৩২। **বলের বিশ্লেষণ** (Resolution of Forces) : বেগের ন্যায় একটি বলকে দুই বা ততোধিক বলে বিশ্লেষণ করা যায়। যদি R নির্দিষ্ট বল হয়, P ও Q বিশ্লিষ্ট বল হয়, P ও Qএর মধ্যস্থিত কোণ = ৯০° এবং R ও Qএর মধ্যস্থিত কোণ = α.

$$P = R \sin\alpha. \quad Q = R \cos\alpha \cdots\cdots\cdots (১৮)$$

উদাহরণ : ঘুড়ি উড়ান : K ঘুড়ি বাতাসে স্থির থাকিলে ইহার ভিতর তিনটি বল ক্রিয়া করে :—(ক) উহার ওজন W ; ইহা লম্বভাবে নিম্নদিকে ক্রিয়া করে। (খ) সূতার টান T (গ) বাতাসের চাপ P। মনে কর KA, KB ও DK রেখাত্রয় যথাক্রমে W, T ও P বলকে প্রকাশ করে। KBCA সামান্তরিক সম্পূর্ণ কর। ∴ W ও Tর লব্ধি KC রেখা দ্বারা প্রকাশিত হয় (সামান্তরিক সূত্র অনুসারে)। মনে কর উহা R। Pকে দুইটি বলে বিশ্লিষ্ট করা যায়—(i) একটি বল ঘুড়ির তল KE বরাবর ক্রিয়া করে। ঘুড়ির সাম্যের উপর ইহার কোন ফল হয় না। (ii) অপর বল KEর উপর লম্ব

(Normal) হইবে। মনে কর ইহা M। M বল ঘুড়িকে উপর দিকে ঠেলিবে। এই বল যদি লব্ধি Rর সমান ও বিপরীত হয় তবে ঘুড়ি বাতাসে স্থির থাকে। P যদি বেশী হয় তবে ইহার লম্ব উপাদান M বেশী হয়। ঘুড়ি উপরে উঠে যতক্ষণ না M বল R লব্ধির সমান ও বিপরীত না হয়। P কমিলে ঘুড়ি নীচে নামে। যদি P সমান থাকে তবে সুতা ছাড়িলে T কমে কাজেই M অপেক্ষা R কমে, ঘুড়ি উপরে উঠে। যখন P হঠাৎ বদলাইয়া যায় তখন ঘুড়ি এলোমেলো ভাবে উড়ে।

১৪নং চিত্র

ইহা বন্ধ করবার জন্য ঘুড়ির পিছনে একটা লেজ থাকে। মাটির কাছে P কম থাকে সেইজন্য দৌড়াইয়া ঘুড়ি উড়াইলে P বেশী হয়, ঘুড়ি উপরে উঠিয়া যায়।

এরোপ্লেন উড়ান: ঘুড়ি উড়ানর বেলায় আমরা দেখিয়াছি বাতাসের চাপ P বিশেষ প্রয়োজনীয় বিষয়। মাটির কাছে বাতাসের চাপ কম থাকে বলিয়া বালক দৌড়াইয়া ঘুড়িতে বাতাসের চাপ বাড়ায়। ঘুড়ির সুতা ছিঁড়িয়া গেলে T লুপ্ত হয়, ঘুড়ি ঘুরিতে ঘুরিতে মাটিতে পড়ে। কিন্তু সুতা ছিঁড়িবার পূর্বে যদি ঘুড়ির সঙ্গে একটি ওজনশূন্য এঞ্জিন ও চালন-চক্র (propeller) জোড়া যাইত এবং উহারা T মানের সমান বল প্রয়োগ করিত তবে ঘুড়ি আকাশে স্থির থাকিত। উর্ধে বাতাসের চাপ P কমিলে কোন দিকে এঞ্জিনের গতি বাড়াইয়া পুনরায় P বাড়ান যায়। এঞ্জিনের গতি আরও বাড়াইয়া ঘুড়ির উপর বাতাসের চাপ বাড়ান যায়। কাজেই M খুব বাড়িয়া ঘুড়িকে দ্রুতগতিতে ঠেলিয়া লইয়া যাইবে ঘুড়িটি তখন এরোপ্লেন হইবে। এই হইল এরোপ্লেন উড়ানর নীতি।

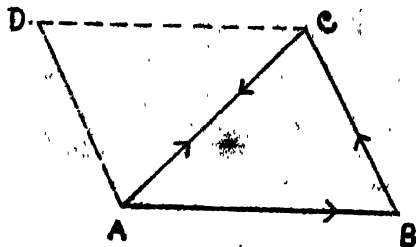
মনে কর AC এরোপ্লেনের প্রধান ডানার তল ও OE বাতাসের মোট চাপ

প্রকাশ করে। OE বলকে দুইটি বলে বিশ্লিষ্ট কর, একটি অনুভূমিক বল OF আর একটি ঊর্ধ্বদিকে লম্বভাবে ক্রিয়াশীল বল OD. এরোপ্লেনের ওজন W ভারকেন্দ্র Cএর মধ্য দিয়া লম্বভাবে নীচের দিকে ক্রিয়া করে। বালক যেমন মাটিতে দৌড়াইয়া বাতাসের চাপ বাড়ায়, এঞ্জিন মাটির উপর ঘুরাইলে এরোপ্লেন মাটির উপর দিয়া দ্রুত চলিতে থাকে। ইহাতে এরোপ্লেনের উপর বাতাসের চাপ বাড়ে। OD যখন Wর চেয়ে বেশী হয় তখন এরোপ্লেন মাটি ছাড়িয়া উপরে উঠে, এরোপ্লেনের অগ্রগতি ডানার উপর বাতাসের চাপ বাড়ায় এবং অনুভূমিক বল OFকে প্রশমিত করে। ঘুড়ির লেজের মত একটি ছোট প্লেন *a b* এরোপ্লেনের শেষে জোড়া থাকে। চালক ছোট প্লেনকে এধার-ওধার ঘুরাইয়া ডানা দুইটিকে ঠিক রাখে এবং এরোপ্লেনকে নামাইতে বা উঠাইতে পারে।

১২নং চিত্র

৩৩। **বলের ত্রিভুজ (Triangle of forces)**: যদি তিনটি বল একটি বিন্দুর উপর কাজ করে এবং তাহারা পরিমাণ ও অভিমুখে যথাক্রমে একটি ত্রিভুজের একই দিকে পর পর (taken in order) তিনটি বাহুদ্বারা প্রকাশিত হয় তবে বলগুলি বিন্দুর সমতা রক্ষা করিবে।

প্রমাণ: মনে কর O বিন্দুতে তিনটি বল P, Q, R কাজ করে এবং

১৩নং চিত্র

ইহারা যথাক্রমে AB, BC, CA দ্বারা প্রকাশিত হয়। ABCD সামান্তরিক সম্পূর্ণ কর। AD ও BC সমান ও সমান্তরাল। ∴ Q বলকে AD প্রকাশ করে।

∴ A বিন্দুতে P ও Q বলকে যথাক্রমে AB ও AD বাহু প্রকাশ করে।

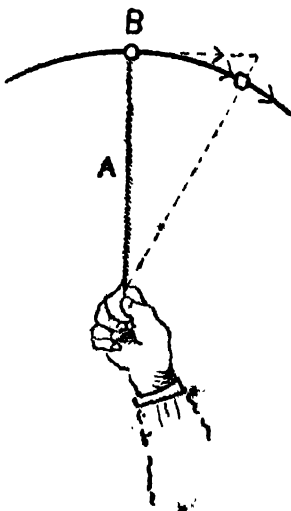
∴ কর্ণ AC = তাহাদের লব্ধি।

∴ তৃতীয় বল R ও লব্ধি যথাক্রমে CA ও AC দ্বারা প্রকাশিত হয় অর্থাৎ তাহারা সমান ও বিপরীত মুখী হয়।

∴ তিনটি বলের মিলিত ফল = O.

∴ তিনটি বল বিন্দুর সমতা রক্ষা করে। . বিন্দুটি নড়ে না।

বলের ত্রিভুজের বিপরীত সূত্র ঃ যদি তিনটি বল কোন বিন্দুর উপর ক্রিয়া করিয়া বিন্দুকে স্থির রাখে তবে তাহারা ত্রিভুজের পর পর একই দিকে তিনটি বাহুর দ্বারা প্রকাশিত হইবে।

উদাহরণ ঃ কোন ছবির দুই ধারে একটি সুতা বাঁধিয়া একটি পেরেকে ঝুলাইলে ছবিটি তিনটি বলের ক্রিয়ায় স্থির থাকিবে, যথা ঃ—(ক) ছবির ওজন W নিম্ন দিকে ক্রিয়া করিবে। (খ) দুই দিকের সুতার টান T_1 ও T_2,। তিনটি বলকে ত্রিভুজের তিনটি বাহু দ্বারা প্রকাশ করিলে ইহা দেখান যায় যে সুতা ছোট করিলে T_1 ও T_1 বাড়িয়া যায়। বেশী ছোট করিলে ছবি ছিঁড়িয়া পড়িয়া যাইতে পারে।

১৭নং চিত্র

৩৪। বৃত্তাকার পথে সমগতি (Uniform Motion in a Circle) : একখণ্ড সুতায় (A) একটি ঢিল (B) বাঁধিয়া জোরে ঘুরাইলে ঢিলটি বৃত্তাকার পথে ঘুরিতে থাকে। দুইটি বল ঢিলের উপর ক্রিয়া করে। একটি বল সুতার ভিতর দিয়া ঢিলকে কেন্দ্রের (হাতের) দিকে টানে; ইহার প্রতিক্রিয়া স্বরূপ আর একটি সমান ও বিপরীত বলের উদ্ভব হয়। এই প্রতিক্রিয়া বল কেন্দ্রকে (হাতকে) বাহিরের দিকে টানে। প্রথম বলের প্রভাবে ঢিলটি বৃত্তাকার পথে ঘোরে। আমরা এই বলের পরিমাণ ও অভিমুখ বাহির করিব।

৩৫। **বৃত্তাকারে সমগতিসম্পন্ন কণিকার উপর ক্রিয়াশীল বল (Force on a particle in a circular motion) : বলের পরিমাণ—** মনে কর m ভরবিশিষ্ট A কণিকা v সমদ্রুতিতে (speed) r-ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট বৃত্তের পরিধি বরাবর চলিতেছে। আমাদের বাহির করিতে হইবে যে কোন্ বলের ক্রিয়ায় কণিকাটি এইরূপ বৃত্তাকার গতি প্রাপ্ত হয়। যদি কণিকাটির উপর কোন বল ক্রিয়া না করে তবে উহা স্পর্শক (tangent) AP অভিমুখে যাইবে। মনে কর কণিকাটি t সময়ে এই বলের ক্রিয়ায় AC চাপ রচনা করে। যদি এই বল না থাকিত তবে কণিকাটি t সময়ে স্পর্শক অভিমুখে Pতে আসিত

১৮নং চিত্র

$\therefore$ AP = vt. কিন্তু এই বলের জন্য t সময়ে কণিকাটি P হইতে Cতে আসিয়াছে। অতএব যদি এই বলের জন্য ত্বরণ f হয় তবে $PC = \frac{1}{2}ft^2$.

জ্যামিতি হইতে, $OP^2 = OA^2 + AP^2 \therefore (r+PC)^2 = r^2 + AP^2$

বা $r^2 + 2r.PC + PC^2 = r^2 + AP^2$

বা $2r.PC + PC^2 = AP^2$

কিন্তু PC খুব ক্ষুদ্র $\therefore$ PC^2 বাদ দিতে পারা যায়।

$\therefore 2r.PC = AP^2$ বা $2r.\frac{1}{2}ft^2 = v^2t^2$ বা $f.r. = v^2$

$$\therefore f = \frac{v^2}{r} \cdots (১৯)$$

আমরা জানি, বল = ভর × ত্বরণ। $\therefore$ বল $= m.\frac{v^2}{r.}$ (চরম একক)$\cdots$(২০)

যদি কৌণিক বেগ ω হয় তবে $v = r\omega \therefore f = r\omega^2$, বল $= m.r\omega^2$.

এই ত্বরণের ও বলের অভিমুখ : প্রতি মুহূর্তে কণিকার গতির দিক পরিবর্তিত হইতেছে কিন্তু গতির দ্রুতির পরিমাণ বদলায় না। কাজেই ক্রিয়াশীল বল কণিকার প্রতি মুহূর্তের গতির দিকের অর্থাৎ স্পর্শকের সমকোণে কেন্দ্রাভিমুখে ক্রিয়া করিবে সুতরাং এই বল কণিকাকে কেন্দ্রের দিকে টানে। **বল ও ত্বরণ দুইই গতিপথের উপর অভিলম্ব (normal) ভাবে ক্রিয়া করে, অর্থাৎ ইহারা কেন্দ্রাভিমুখী হয়।**

৩৬। **অভিকেন্দ্র বা কেন্দ্রাভিগ বল** (Centripetal Force) : যে লম্ব (normal) বল কোন দ্রব্যের উপর ক্রিয়া করিয়া তাহাকে সম দ্রুতিতে বৃত্তপথে ঘুরাইতে পারে সেই বলকে **অভিকেন্দ্র বল** বলে। ইহা কেন্দ্র হইতে ব্যাসার্ধ বরাবর ঘূর্ণায়মান দ্রব্যকে কেন্দ্রের দিকে টানে অর্থাৎ ইহা কেন্দ্রাভিমুখী হয়। উপরোক্ত সূতা ও ঢিলের পরীক্ষায় কেন্দ্রস্থিত হাত এই বল প্রয়োগ করে এবং সূতার মধ্য দিয়া ঢিলকে কেন্দ্রের দিকে টানে। ঢিল ঘুরাইবার সময় আমরা প্রতি মুহূর্তে এই বলের জন্য হাতের টান অনুভব করি। এই অভিকেন্দ্র বলের পরিমাণ $= \frac{m v^2}{r}$

৩৭। **অপকেন্দ্র বা কেন্দ্রাতিগ বল** (Centrifugal Force) : প্রত্যেক ক্রিয়ার সমান ও বিপরীতমুখী প্রতিক্রিয়া হয়। অতএব ঘূর্ণায়মান দ্রব্য অপকেন্দ্র বলের সমান বল $\left(\frac{m v^2}{r}\right)$ কেন্দ্রের উপর প্রয়োগ করে ; অর্থাৎ ইহার অভিমুখ হয় কেন্দ্র হইতে পরিধির দিকে। এই বলকে **অপকেন্দ্র বল** বলে। এই বলের ক্রিয়ায় ঢিলটি সূতার ভিতর দিয়া হাতকে টানে। ইহার ফলে সূতাটি ঝুলিয়া পড়ে না, সটান হইয়া থাকে এবং ঢিলটি হাত হইতে ছুটিয়া যাইবার চেষ্টা করে। যতক্ষণ অভিকেন্দ্র বল থাকে ততক্ষণ অপকেন্দ্র বল থাকে। ঢিলের ঘূর্ণন বন্ধ হইলে অভিকেন্দ্র ও অপকেন্দ্র বল দুই-ই লুপ্ত হয়। সূতাটি ছাঁড়িয়া দিলে ঢিলটি গতির জাড্যের জন্য স্পর্শক অভিমুখে ছুটিয়া যায়।

দৃষ্টান্ত :—(ক) যান্ত্রিক টান (tension), মহাকর্ষ বল (gravitational force), অভিকর্ষ বল (gravity), তড়িৎ-বল, চুম্বক-বল কোন দ্রব্যকে বৃত্তপথে ঘুরাইতে পারে অর্থাৎ অভিকেন্দ্র বলের কাজ করিতে পারে। সূর্যের আকর্ষণ গ্রহগুলিকে ঘুরায়। সূতার টান ঢিলকে ঘোরায়। অণুর মধ্যে ধনাত্মক তড়িৎ সম্পন্ন নিউক্লিয়াসের চারিপাশে ঋণাত্মক তড়িৎ সম্পন্ন ইলেক্‌ট্রোন ঘোরে।

(খ) **গ্রহের গতি ও সূর্যের ভর** :—গ্রহগুলি সূর্যের চারিদিকে (প্রায়) সমদ্রুতিতে ঘুরিয়া বেড়ায় অতএব সূর্য (কেন্দ্র) হইতে গ্রহগুলির উপর অভিকেন্দ্র বল প্রয়োগ হয়। ইহাই হইল সূর্যের আকর্ষণ-বল। মনে কর এই

গতিপথ বৃত্তাকার এবং m = গ্রহের ভর, M = সূর্যের ভর, v = সমদ্রুতি, r = ব্যাসার্ধ। ∴ অভিকেন্দ্র বল = $\frac{mv^2}{r}$ = সূর্যের আকর্ষণ বল।

নিউটনের অভিকর্ষ নিয়মানুসারে (পরে দ্রষ্টব্য) সূর্যের আকর্ষণ বল = $G\frac{Mm}{r^2}$ (G = মহাকর্ষীয় ধ্রুবক Gravitational Constant)

অতএব $G.\frac{Mm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ বা $M = \frac{v^2r}{G} = \frac{v^2}{r^2}.\frac{r^3}{G} = \frac{\omega^2r^3}{G}$

ω = গ্রহের কৌণিক বেগ—ইহা যন্ত্র দিয়া মাপা যায়। অতএব r ও G জানা থাকিলে M বা সূর্যের ভর পাওয়া যায়।

(গ) বাঁকা রেলপথে বাঁকের জায়গায় গাড়ীর অধিক গতিবশতঃ অপকেন্দ্র বল গাড়ীর উপর ক্রিয়া করিয়া গাড়ীকে লাইনচ্যুত করার চেষ্টা করে। সেইজন্য রেলপথ বাঁকের ভিতরের দিকে ঢালু করা হয় (banking of tracks)। ইহাতে বাহিরের রেলপথ ভিতরের রেলপথ অপেক্ষা একটু উঁচু হয়। উঁচু রেলে গাড়ীর ওজন ও চাকার পার্শ্ব প্রতিক্রিয়া গাড়ীকে প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল সরবরাহ করে। ইহা অপকেন্দ্র-বলকে প্রশমিত করে। বাঁকের মুখে গাড়ীর গতিবেগ কমাইয়াও অপকেন্দ্র বল $\left(\frac{mv^2}{r}\right)$ কমান হয়।

(গ) সাইকেল আরোহী বা অশ্বারোহী বৃত্তপথে ঘুরিলে দেহের সাম্যরক্ষার জন্য আরোহী বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে দেহকে ঝুঁকিয়া দেয়। কেন ? আরোহীর উপর চারিটি বল ক্রিয়া করে। (১) মনে কর সাইকেল ও আরোহীর যুক্ত ভর = m ; ∴ ইহাদের ওজন mg ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া লম্বভাবে নীচের দিকে ক্রিয়া করে। (২) অপকেন্দ্র বল $\frac{mv^2}{r}$ যেখানে r = বৃত্তপথের ব্যাসার্ধ, v = সাইকেলের বেগ। (৩) ঘর্ষণ বল F। (৪) মাটির প্রতিক্রিয়ার অভিলম্ব উপাংশ (vertical component) Q। যতক্ষণ Q ও Mg বলদ্বয়ের দ্বন্দ্ব (couple) এবং F ও $\frac{mv^2}{r}$ বলদ্বয়ের দ্বন্দ্ব সমান হবে ততক্ষণ আরোহী পড়িবে না। যতই v বাড়িবে ততই দেহকে ভিতরের দিকে ঝুকাইয়া r কম করিতে হইবে।

(ঘ) ভিজা কাপড় চোঙাকৃতি তারের খাঁচার মধ্যে রাখিয়া খাঁচাকে খুব জোরে ঘুরাইলে জল কাপড় হইতে পৃথক হইয়া যাইবে। এখানে জল ও সূতার মধ্যে আসঞ্জন বল (adhesive force) অপকেন্দ্র বলের চেয়ে কম হয়। মাখন-তোলা দুধকে কোন পাত্রে রাখিয়া পাত্রকে জোরে ঘুরাইলে দুধ হইতে মাখন পৃথক করা যায়।

(ঙ) গতিশীল গাড়ীর চাকার অপকেন্দ্র বলের জন্য কাদা ছিটকাইয়া পড়ে। অপকেন্দ্র বল চাকার ও কাদার আসঞ্জন বল অপেক্ষা বেশী হয়।

(চ) কোন পাত্রে তরলের মধ্যে যদি সূক্ষ্ম স্ফটিক (crystal) গঠিত হয়, তবে পাত্রটিকে একটি বৃত্তপথে ঘূর্ণায়মান যন্ত্রে রাখিলে কঠিন স্ফটিকগুলি অপকেন্দ্র-বলের জন্য দূরে যাইতে চেষ্টা করিবে এবং পাত্রের তলদেশে জমিবে।

(ছ) পৃথিবী গোড়ার দিকে গলিত দ্রব্যে গঠিত ছিল। অক্ষের চারিদিকে পরিক্রমণের জন্য অপকেন্দ্র বলের উদ্ভব হয়। এই অপকেন্দ্র বল নিরক্ষরেখায় সকলের চেয়ে বেশী হয়, মেরুর দিকে কমিয়া যায়। কাজেই নিরক্ষরেখায় পৃথিবী স্ফীত হইয়াছে, মেরুতে চাপা হইয়াছে।

প্রশ্ন

1. State and explain the laws of motion. (C. U. 1930; D. U. 1935, '39.)

2. State the second law of motion and show how you obtain a unit of force from it. (Pat U. 1925, '26.)

3. State and explain and prove the parallelogram of forces. The wind blows from a point intermediate between north and east. The northernly component of its velocity is 5 miles per hour and easterly component is 12 miles per hour. Find the resultant velocity. (C. U. 1934.)

A. $R^2 = \sqrt{P^2+Q^2} = \sqrt{144+25} = \sqrt{169} = 13$ miles per hour.

4. What are Centripetal and Centrifugal forces and what are their relations with a body moving on a circular orbit?

(P. U. 1932; C. U. 1939.)

5. Enunciate and give theoretical and experimental verification of the proposition known as the triangle of forces. (P. U. 1934, '32)

6. Explain with the aid of a diagram the flight of a kite. (P. U. 1931, '37.)

7. A force of 100 dynes acts upon a mass of 25 gms. for 5 seconds. What velocity does it generate ? (C. U. 1934.)

Ans 20 cms. per sec.

8. When a man drags a heavy body along the ground by means of a rope, the rope drags the man back with a force equal and opposite to that with which it drags the body forward. Why then does motion ensue ? (P. U. 1928).

Ans. ২৯ (গ) (৩)।

মহাকর্ষ (Gravitation) ও অভিকর্ষ (Gravity)

৩৯। **নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র** :—জ্যোতিষ্কের গতি পর্যবেক্ষণ করিয়া ও আপেল ফলের পতন দেখিয়া নিউটন নিম্নলিখিত সূত্র আবিষ্কার করেন : (ক) বিশ্বের ছোট-বড় যাবতীয় পদার্থ একে অন্যকে আকর্ষণ করে তাহারা যে কোন দূরত্বেই থাকুক না কেন। (খ) এই আকর্ষণ বল পদার্থদ্বয়ের সংযোজক রেখাক্রমে প্রয়োগ হয়। (গ) এই আকর্ষণ-বল পদার্থদ্বয়ের ভরের গুণফলের সমানুপাতে (directly) এবং দূরত্বের বর্গফলের ব্যস্তানুপাতে (inversely) পরিবর্তিত হয়। এই নিয়মগুলিকে **মহাকর্ষ সূত্র** (Law) বলে।

মনে কর m ও m^1 ভরযুক্ত দুইটি পদার্থ পরস্পর হইতে d দূরত্বে থাকিয়া একে অন্যকে F বলের সহিত আকর্ষণ করে তবে—

(গ) নিয়ম হইতে $F \propto m.m^1$ যখন দূরত্ব একই থাকে এবং $F \propto \frac{1}{d^2}$ যখন ভর একই থাকে।

$$\therefore \quad F \propto \frac{mm^1}{d^2} \text{ বা } F = G.\frac{mm^1}{d^2} \ldots\ldots(২১)$$

যেখানে G = মহাকর্ষীয় ধ্রুবক (Gavitational Constant)। ইহা পদার্থের ভরের উপর নির্ভর করে না।

যদি $m=1, m^1=1, d=1$ তবে $G=F$

অর্থাৎ যদি একক ভরের দুইটি পদার্থ একক দূরত্বে থাকে তবে তাহাদের মধ্যের আকর্ষণ-বল G হয়। Boys এই G মাপ করেন। ইহার পরিমাণ হইল ৬'৬৫৭৬ × ১০⁻⁸ ডাইন।

যদি পদার্থ দুইটি গোলাকার হয় তবে d হইবে তাহাদের কেন্দ্রদ্বয়ের দূরত্ব অর্থাৎ গোলাকার পদার্থের সমস্ত ভরকে কেন্দ্রে অবস্থিত বলিয়া ধরা হয়।

*৪০। **অভিকর্ষ** (Gravity): পৃথিবীর এবং তৎসংলগ্ন বা তৎ-নিকটস্থিত কোন দ্রব্যের মধ্যে পরস্পর আকর্ষণ বলকে **অভিকর্ষ** বলে। ইহা মহাকর্ষের একটি বিশেষ নাম। পৃথিবীর ভর (৬'১ × ১০²⁷ গ্রাম) ভূপৃষ্ঠস্থ অন্য কোন দ্রব্যের ভরের তুলনায় এত বেশী যে পৃথিবীর আকর্ষণই আমরা বুঝিতে পারি, অন্য দ্রব্যের আকর্ষণ বুঝিতে পারি না। পৃথিবীর অধিক আকর্ষণের জন্য অন্য দ্রব্য অধৃত অবস্থায় থাকিলে ভূপৃষ্ঠে পড়িয়া যায়।

মনে কর পৃথিবীর ভর $=M$, দ্রব্যের ভর $=m$, পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে দ্রব্যের দূরত্ব = পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $=R$.

$$\therefore \text{ অভিকর্ষ বল } F=G.\frac{Mm}{R^2} \quad \cdots(২২)$$

পৃথিবী গোলাকার বলিয়া পৃথিবীর বাহিরের কোন বস্তুর উপর এই বল সব সময়েই পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে ক্রিয়া করে বলিয়া ধরা হয়।

৪১। **অভিকর্ষ-জাত ত্বরণ** (Acceleration due to gravity): কোন দ্রব্য উচ্চে অধৃত অবস্থায় থাকিলে মাটির দিকে পড়িতে থাকে। দ্রব্যাটি যতই পৃথিবীর দিকে নামে ততই ইহার বেগ বৃদ্ধি পায়। নিউটনের তৃতীয় গতিসূত্র অনুসারে বেগের পরিবর্তনের দিকে নিশ্চয়ই একটি বল ক্রিয়া করে। এই বল হইল অভিকর্ষ বল এবং এই বেগের পরিবর্তনের হারকে **অভিকর্ষজাত ত্বরণ** বলে। ইহা 'g' অক্ষর দ্বারা প্রকাশিত হয়। 'g' দোলক সূত্রানুযায়ী নির্ণয় করা হয়। আমরা জানি, বল = ভর × ত্বরণ।

(২২) হইতে m ভরের উপর অভিকর্ষ বল $F=G.\frac{Mm}{R^2}$ $\therefore g=G.\frac{M}{R^2}$

৪২। একই স্থানে ভারী বা হাল্কা সকল দ্রব্যই সমান দ্রুততায় (rapidity) নীচে পড়ে।

(ক) **গাণিতিক প্রমাণ:** মনে কর পৃথিবীর ভর = M, কেন্দ্র হইতে R দূরত্বে অবস্থিত দুইটি দ্রব্যের ভর যথাক্রমে m ও m′, মহাকর্ষীয় ধ্রুবক = G, অভিকর্ষ-জাত ত্বরণ = g. অতএব দুইটি দ্রব্যের উপর অভিকর্ষ বল হইল যথাক্রমে

$$G.\frac{Mm}{R^2} \text{ ও } G.\frac{Mm'}{R^2}$$

আবার এই অভিকর্ষ বল = mg ও m′ g.

$$\therefore\ m\,g = G\,\frac{Mm}{R^2}, \qquad m'\,g = G\,\frac{Mm'}{R^2}.$$

$$\therefore\ g = G.\frac{M}{R^2} \;\cdots\cdots(২৩)$$

একই স্থানে G, M, R. পরিবর্তন করে না সুতরাং একই স্থানে g-ও পরিবর্তন করে না অর্থাৎ আকৃষ্ট দ্রব্যের ভরের উপর g নির্ভর করে না। g নির্ভর করে R-এর উপর। ৪৫° অক্ষাংশে সমুদ্রতলে g-এর মানকে নির্দিষ্ট মান ধরা হয়।

(খ) পরীক্ষামূলক প্রমাণ (Experimental proof)—গিনি ও পালক (Guinea and Feather) পরীক্ষা দ্বারা ইহা প্রমাণিত হয়। (পরে দেওয়া হইয়াছে।)

৪৩। **ত্বরণের হ্রাস-বৃদ্ধি:** আমরা জানি $g = G.\frac{M}{R^2}$. এখানে G. ও M উভয়েই ধ্রুবক। সুতরাং R না বদলাইলে g বদলাইবে না। অতএব একই স্থানে g-এর মান অপরিবর্তনীয় থাকে কিন্তু বিভিন্ন স্থানে R তথা g-এর মান নিম্নলিখিত কারণে বাড়ে বা কমে।

(ক) ভূপৃষ্ঠ হইতে উচ্চতা বাড়িলে R বাড়িয়া যায় অতএব 'g'-এর মান কমিয়া যায়।

(খ) দুইটি কারণে 'g'-এর মান মেরুদ্বয়ে বৃহত্তম হয় ও নিরক্ষরেখার দিকে ক্রমশঃ কমিয়া যায়। যথা:—(১) পৃথিবী সম্পূর্ণ গোল নহে; মেরুদ্বয় কিঞ্চিৎ চাপা ও নিরক্ষঅঞ্চল কিঞ্চিৎ স্ফীত। সেইজন্য নিরক্ষরেখা হইতে অঙ্কিত ব্যাসার্ধ

অপেক্ষা মেরু হইতে ব্যাসার্ধ ১৩ মাইল ছোট। সেইজন্য মেরুদ্বয়ে 'g'এর মান বেশী হয়, নিরক্ষরেখায় 'g'এর মান কম হয়।

(২) পৃথিবীর আবর্তনের জন্য যে অপকেন্দ্র বলের সৃষ্টি হয় তাহা পতনশীল পদার্থকে পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে দূরে লইয়া যাইবার চেষ্টা করে; আবার অভিকর্ষ বল পদার্থটিকে কেন্দ্রের দিকে টানে। অভিকর্ষ বলের খানিকটা অপকেন্দ্র বলকে প্রশমিত করিতে ব্যয়িত হয়, অপকেন্দ্র বল নিরক্ষরেখায় বৃহত্তম, মেরুদ্বয়ে শূন্য হয়। সেইজন্য নিরক্ষরেখায় 'g'এর মান কমে, মেরুদ্বয়ে বাড়ে।

নিরক্ষরেখায় 'g'এর মান ৯৭৮ সেঃ মিঃ/সেকেণ্ড² বা ৩২'০৯ ফুট/সেকেণ্ড², মেরুদ্বয়ে ইহা ৯৮৩ সেঃ মিঃ/সেকেণ্ড² বা ৩২'২৫ ফুট/সেকেণ্ড²। gএর গড় মান = ৯৮১ সেঃ মিঃ/সেকেণ্ড² বা ৩২'২ ফুট/সেকেণ্ড²। কলিকাতায় gএর মান' ৯৭৮'৭ সেঃ মিঃ/সেকেণ্ড² বা ৩২'১৩ ফুট/সেকেণ্ড²।

৪৪। **ওজন** (Weight): কোন দ্রব্য হাতে লইলে দ্রব্যটির উপর পৃথিবীর আকর্ষণ বলের জন্য হাতের উপর একটি নিম্নমুখী টান অনুভূত হয়। পৃথিবীর এই আকর্ষণ বা টান বস্তুকে ভারী করিয়া তোলে। এই আকর্ষণ-বলের পরিমাণকে পদার্থের ওজন বলে। মনে কর দ্রব্যের ভর = m, অভিকর্ষ জাত ত্বরণ = g,

∴ ১৭ সমীকরণ অনুসারে ওজন W = আকর্ষণ বল = ভর × ত্বরণ = mg···(২৪)

$$\text{আবার, ওজন } W = G.\ \frac{Mm}{R^2} \cdots (২৫)$$

ওজনের এই দুইটি সমীকরণ মনে রাখিবে।

৪৫। **ভর ও ওজন সমানুপাতিক**: মনে কর একই স্থানে তিনটি পদার্থ আছে যাহাদের ভর যথাক্রমে m, m_1 ও m_2 এবং ওজন যথাক্রমে w, w_1 ও w_2.

$$\therefore w = mg, \quad w_1 = m_1 g, \quad w_2 = m_2 g.$$

$$\therefore g = \frac{w}{m}, \quad g = \frac{w_1}{m_1}, \quad g = \frac{w_2}{m_2}.$$

আমরা জানি একই স্থানে প্রত্যেক পদার্থের 'g'এর মান সমান,

$$\therefore \frac{w}{m} = \frac{w_1}{m_1} = \frac{w_2}{m_2}.$$

∴ **একই স্থানে ভর ও ওজন সমানুপাতিক।**

৪৬। ভর ও ওজনের পার্থক্য : একই স্থানে ভর ও ওজন সমানুপাতিক হইলেও উহাদের অর্থ এক নহে। ভর বলিলে কোন দ্রব্যের মধ্যে যতটা জড় (matter) থাকে তাহাকেই বুঝায়। দ্রব্যটিকে যেখানে লইয়া যাও এমন কি পৃথিবীর কেন্দ্রে লইয়া গেলেও ভরের পরিমাণ বদলায় না। ওজন কার্যত একটি বল যাহার পরিমাণ শুধু দ্রব্যের ভরের উপর নির্ভর করে না, দ্রব্যের বাহিরের উপাদান 'g'এর পরিমাণ ও অভিমুখের উপর নির্ভর করে। পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে g বদলায় কাজেই একই দ্রব্যের ওজনও বদলায়। কিন্তু ভর বদলায় না। দ্রব্য মাত্রেরই সর্বাবস্থায় ভর থাকিবে কিন্তু ওজন নাও থাকিতে পারে। পৃথিবীর কেন্দ্রে সকল দ্রব্যই ওজন শূন্য। ওজনের পরিমাণ ও অভিমুখ আছে সেইজন্য ইহা Vector রাশি। ভরের শুধু পরিমাণ আছে, সেইজন্য ইহা Scalar রাশি। ভরের একক হইল গ্রাম বা পাউণ্ড, ওজনের একক হইল বলের একক অর্থাৎ ডাইন বা পাউণ্ডাল। সেইজন্য বলা হয় 'Weight is not an essential property of matter.' সূর্যে একই ভরের ওজন পৃথিবীতে ওজনের চেয়ে ২৭ গুণ। চন্দ্রে একই ভরের ওজন পৃথিবীতে ওজনের $\frac{১}{৬}$ ভাগ।

৪৭। ওজন ও ভরের পরিমাপ গ্রহণ : কোন দ্রব্যের ভর তথা ওজন সাধারণ তুলা ও স্প্রীং তুলা দ্বারা মাপা হয়। ইহাদের বিষয় পরে বলা হইয়াছে।

৪৭ ক। মহাকর্ষীয় একক (Gravitational Unit) :—এক একক ভর যে বলের সহিত পৃথিবীর দ্বারা আকৃষ্ট হয় তাহাকে বলের **মহাকর্ষীয় একক** বলে। ইহাই হইল এক একক ভরের ওজন। ∴ এই বল একক ভরের উপর ক্রিয়া করিয়া 'g' ত্বরণ উৎপন্ন করে। আমরা জানি F.P.S প্রণালীতে g = ৩২·২ ফুট/সেকেণ্ড² ∴ F.P.S প্রণালী অনুসারে বলের মহাকর্ষীয় একক = ১ পাউণ্ডের ওজন (weight of a pound or pound-weight) = ১ × g = ১ × ৩২·২ = ৩২·২ পাউণ্ডাল কারণ এক পাউণ্ডাল বল এক একক ভরে ১ ফুট/সেকেণ্ড² ত্বরণ উৎপন্ন করে।

∴ C.G.S প্রণালীতে বলের মহাকর্ষীয় একক = ১ গ্রামের ওজন (a gram-weight) = ১ × g = ১ × ৯৮১ = ৯৮১ ডাইন।

∴ ১ পাউণ্ডের ওজন $= g$ পাউণ্ডাল ; ১ গ্রামের ওজন $= g$ ডাইন।

∴ বলের মহাকর্ষীয় একক $= g \times$ চরম একক।

(Gravitational Unit of Force $= g \times$ Absolute unit)

$$১ \text{ পাউণ্ডাল} = \frac{১}{৩২\text{'}২} \times ১ \text{ পাউণ্ড}$$

$$= \text{প্রায় } \tfrac{১}{২} \text{ আউন্সের ওজন}$$

$$১ \text{ ডাইন} = \frac{১}{৯৮১} \times ১ \text{ গ্রাম} = \text{প্রায় ১ মিলিগ্রামের ওজন}$$

৪৮। ওজনের পরিবর্তনের কারণ (Factors) :

$$W = G.\frac{Mm}{R^2} = mg.$$

যে যে কারণে R তথা g বদলায় সেই সেই কারণে W বদলায়। কারণগুলি এইরূপ :—(ক) ভূ-পৃষ্ঠ হইতে ঊর্ধ্বে যাইলে R বাড়িয়া যায়, g কমিয়া যায়, W কমিয়া যায়। (খ) পৃথিবীর আকৃতির জন্য ভূপৃষ্ঠে বিভিন্ন স্থানে R সমান নয় এবং অপকেন্দ্র বলও সমান নয়। সেইজন্য g এর মান ভিন্ন হয় এবং অক্ষাংশ ভেদে W এর মান ভিন্ন হয়। (গ) পৃথিবীর অভ্যন্তরে যাইলে R ও M বদলায় অতএব Wও বদলায়।

৪৯। পদার্থের ওজনের পরিবর্তন :—(ক) ভূপৃষ্ঠ হইতে ঊর্ধ্বে ওজন :—মনে কর পৃথিবীর গড় ব্যাসার্ধ $= R$, গড় ঘনাঙ্ক $= D$.

$$\therefore \text{ পৃথিবীর ভর } M = \tfrac{4}{3}\pi R^3 D.$$

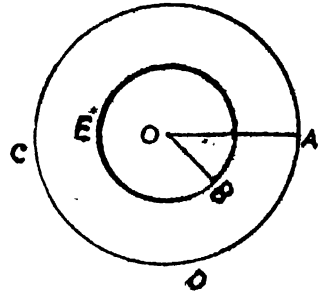
সমুদ্রতল হইতে h উচ্চতায় m ভরের উপর আকর্ষণ বল F

$$= G.\frac{Mm}{(R+h)^2} = G \times \tfrac{4}{3}\pi R^3 D \times \frac{m}{(R+h)^2}$$

$$\therefore h \text{ উচ্চতায় অভিকর্ষ জাত ত্বরণ} = \frac{F}{m} = G. \times \frac{\tfrac{4}{3}\pi R^3 D}{(R+h)^2} \quad \ldots\ldots(২৬)$$

কোন পদার্থ পৃথিবী পৃষ্ঠ হইতে ঊর্ধ্বে থাকিলে আকর্ষণ বল বা ওজন বা ত্বরণ পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে দূরত্বের বর্গফলের ব্যস্ত অনুপাতে বাড়ে

বা কমে। ঊর্ধে দূরত্ব বাড়িলে ওজন কমে। ৪ মাইল উচ্চ পর্বতের চূড়ায় ১০০০ মণের ওজন হবে ৯৯৮ মণ। ৪০০০ মাইল উচ্চতায় ইহার ওজন হবে ২৫০ মণ।

(খ) **ভূগর্ভে ওজনের পরিমাণ** :—মনে কর m ভরযুক্ত কোন পদার্থকে পৃথিবীর অভ্যন্তরে (যথা খনির মধ্যে) কোন স্থানে Bতে লইয়া যাওয়া হইল এবং ভূ-পৃষ্ঠ হইতে সেই স্থানের দূরত্ব $= h$. পৃথিবীর গড় ব্যাসার্ধ $= R$. অতএব O কেন্দ্র হইতে সেই স্থানের দূরত্ব $= OB = R - h$. পৃথিবীর সঙ্গে সমকেন্দ্রিক করিয়া সেই স্থানের উপর দিয়া একটি গোলক (sphere) EB কল্পনা কর। গোলকের ব্যাসার্ধ $= OB = (R - h)$। এক্ষণে পৃথিবী দুইটি অংশে বিভক্ত হইয়াছে বলিয়া ধরা যাইতে পারে—একটি ভিতরে $(R - h)$ ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট ঘন গোলক EB এবং অপরটি বাহিরে h গভীরতা বিশিষ্ট একটি ফাঁপা গোলক (shell) CDA। পদার্থটি প্রথম গোলকের ঠিক উপরে কিন্তু দ্বিতীয় ফাঁপা গোলকের ভিতরে অবস্থিত হইবে। ফাঁপা গোলকের ভিতর কোন আকর্ষণ বল অনুভূত হয় না কাজেই বাহিরের ফাঁপা গোলকের জন্য পদার্থটির উপর কোন আকর্ষণ অনুভূত হইবে না। অতএব $(R-h)$ ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট ভিতরের ঘন গোলকের আকর্ষণই পদার্থকে কেন্দ্রের দিকে টানিবে।

১৮নং চিত্র

ভিতরের গোলকের ভর $= \frac{4}{3}\pi\,(R - h)^3 D$

$\therefore$ m ভরের উপর এই গোলকের আকর্ষণ বল F

$$= G.\tfrac{4}{3}\pi\,(R - h)^3 D \times \frac{m}{(R - h)^2} = \tfrac{4}{3}\pi\,G.\,(R - h)Dm.$$

$\therefore$ এই স্থানে আকর্ষণের জন্য ত্বরণ $g = \frac{4}{3}\pi G\,(R - h)D$

অতএব আকর্ষণ বল (বা পদার্থের ওজন বা ত্বরণ) পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে দূরত্বের সমানুপাতে বদলাইবে; যতই h বাড়িবে অর্থাৎ যতই আমরা পৃথিবীর ভিতর যাইব ততই g এর মান তথা ওজন ক্রমশঃ কমিবে। পৃথিবীর কেন্দ্রে

যাইলে $R-h=0$ সেই জন্য $W=0$ অর্থাৎ পৃথিবীর কেন্দ্রে পদার্থের কোন ওজন থাকিবে না। পৃথিবী পৃষ্ঠ হইতে উপরে বা ভিতরে যাইলে g কমে অতএব পৃথিবী পৃষ্ঠে 'g' এর মান সর্বোচ্চ হয়।

(গ) **ভূপৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানে ওজনের পরিবর্তন :** দুইটি কারণে ভূপৃষ্ঠস্থ বিভিন্ন স্থানে কোন পদার্থের ওজনের পরিবর্তন হয় যথা, (ক) পৃথিবীর বিশিষ্ট আকৃতি, (খ) পৃথিবীর আবর্তন।

(ক) পৃথিবীর মেরুদ্বয় কিঞ্চিৎ চাপা এবং নিরক্ষ অঞ্চল কিঞ্চিৎ স্ফীত। সেইজন্য নিরক্ষরেখা লইতে মেরুদ্বয়ে ব্যাসার্ধ ক্রমশঃ কমিয়া যায়। কোন পদার্থের ওজন = পৃথিবীর ও পদার্থের মধ্যে আকর্ষণ বল $= G.\frac{Mm}{R^2}$

$\therefore$ নিরক্ষরেখায় M, m ও G ধ্রুবক এবং R বৃহত্তম বলিয়া ওজন ও সর্বাপেক্ষা কম হইবে। মেরুতে R ক্ষুদ্রতম বলিয়া ওজনও সর্বাপেক্ষা বেশী হইবে। (এখানে gএর মান বিবেচনা করা হয় নাই)।

(খ) পৃথিবী প্রত্যহ আবর্তন করে এবং এই সঙ্গে ভূপৃষ্ঠের সকল দ্রব্যই আবর্তন করে। এই আবর্তনের জন্য পদার্থটির প্রতি একটি অপকেন্দ্র বল ক্রিয়া করে। এই অপকেন্দ্র বল পদার্থকে পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে দূরে লইয়া যাইতে চেষ্টা করে। আবার অভিকর্ষ বল তথা ওজন পদার্থকে পৃথিবীর কেন্দ্রের দিকে টানে সুতরাং অপকেন্দ্র বল ওজনের বিপরীত দিকে কার্য করে এবং ওজনকে কমাইয়া দেয়। আবার পৃথিবীর আবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে মেরুদ্বয়ের নিকটস্থ স্থান অপেক্ষা নিরক্ষরেখায় কোন পদার্থ একই সময়ে মেরুদণ্ডের চারিদিকে বৃহত্তর বৃত্ত রচনা করে। কিন্তু ভূপৃষ্ঠে সর্বত্র পদার্থের কৌণিক বেগ সমান অতএব মেরুদ্বয় অপেক্ষা নিরক্ষরেখায় রৈখিক বেগ (v) বেশী ও অপকেন্দ্র বল $\left(\frac{mv^2}{r}\right)$ বেশী। ইহা ক্রমশ কমিতে কমিতে মেরুদ্বয়ে শূন্য হইয়াছে। এই কারণে, **নিরক্ষরেখায় ওজন কম হইয়া মেরুদ্বয়ে বাড়িয়া যায়।** এক পাউণ্ড ভরের ওজন নিরক্ষরেখায় ৩২·০৯১ পাউণ্ডাল, মেরুতে ৩২·২৫৫ পাউণ্ডাল, এক গ্রাম ভরের ওজন নিরক্ষরেখায় ৯৭৮·১০ ডাইন, মেরুতে ৯৮৩·২১ ডাইন।

এই ওজনের পার্থক্য খুব সামান্য। ইহা সাধারণ তুলায় দ্বারা মাপা যায় না, স্প্রীং তুলার দ্বারা মাপা যায়।

৫০। **পদার্থের আপাত ওজন (Apparent weight)**: পৃথিবীর সঙ্গে ভূপৃষ্ঠের প্রত্যেক পদার্থ একই বেগে আবর্তন করে। পৃথিবীর অভিকর্ষ বল হইল পদার্থের প্রকৃত ওজন কিন্তু আবর্তনের দরুণ অপকেন্দ্র বলের জন্য অভিকর্ষ বল কমিয়া যায়। যদি অভিকর্ষ বল বা প্রকৃত ওজন $= W$, পদার্থের ভর $= m$, পদার্থের দ্রুতি $= v$, পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $= r$, আপাত ওজন $= W_1$ হয় তবে আপাত ওজন $=$ প্রকৃত ওজন $-$ অপকেন্দ্র বল।

$$W_1 = W - \frac{mv^2}{r} = mg.$$

এই সমীকরণ কেবল নিরক্ষঅঞ্চলে প্রযোজ্য। পৃথিবী পৃষ্ঠে অক্ষাংশ ভেদে সমীকরণটি জটিলতর হইবে।

মনে রাখিবে:—(ক) পদার্থকে পৃথিবীর সঙ্গে ঘুরাইতে হইলে একটি অভিকেন্দ্র বলের দরকার হয়। কিন্তু পৃথিবীর অভিকর্ষ বলই এক মাত্র বল যাহা পদার্থকে কেন্দ্রের দিকে টানে সুতরাং অভিকর্ষ বলেরই খানিকটা পদার্থকে বৃত্তপথে ঘুরাইতে ব্যয়িত হয়। কাজেই অভিকর্ষ বল কমিয়া যায়। (খ) অভিকেন্দ্র বল সর্বদাই অপকেন্দ্র বলের সমান। (গ) নিরক্ষরেখায় অভিকেন্দ্র বল বা অপকেন্দ্র বল সর্বাপেক্ষা বেশী, ঠিক মেরুদ্বয়ে ইহারা লুপ্ত হয়। ঠিক মেরুদ্বয়ে পৃথিবীর কোন গতি নাই।

৫০ক। **গতিশীল লিফ্‌টে (lift) মানুষের আপাত ওজন**: যখন কোন মানুষ ত্বরান্বিত বেগে নিম্নগামী বা উর্ধগামী লিফ্‌টে দাঁড়াইয়া থাকে তখন লিফ্‌টের মেঝের উপর মানুষের নিম্নমুখী চাপ বা ওজন মেঝের উর্ধমুখী প্রতিক্রিয়ার সমান ও বিপরীত হয়। ইহা মানুষের প্রকৃত ওজন নয়। স্থির লিফ্‌টে মানুষের প্রকৃত ওজন $=$ মেঝের প্রতিক্রিয়া। যখন লিফ্‌ট উপরে উঠে বা নীচে নামে মানুষের প্রকৃত ওজন মেঝের প্রতিক্রিয়ার সমান হয় না। লিফ্‌ট যখন উপরে উঠে তখন মেঝের প্রতিক্রিয়া মানুষের প্রকৃত ওজনের চেয়ে বেশী হয়। যখন নীচে নামে তখন প্রকৃত ওজনের চেয়ে মেঝের প্রতিক্রিয়া কম হয়।

এই দৃষ্ট (observed) ওজনই আপাত ওজন। এই আপাত ওজন সব সময়েই মেঝের প্রতিক্রিয়ার সমান।

মনে কর মানুষের ভর $= m$, মেঝের উপর মানুষের চাপ $=$ মেঝের প্রতিক্রিয়া $=$ R $=$ আপাত ওজন, লিফ্‌টের ত্বরণ $= f$, অভিকর্ষ-জাত ত্বরণ $= g$; মানুষের উপর ক্রিয়াশীল বল হইতেছে—নিম্নমুখী মানুষের ওজন mg ও ঊর্ধ্বমুখী মেঝের প্রতিক্রিয়া R. আমরা জানি বল $=$ ভর $\times$ ত্বরণ—যখন লিফ্‌ট উপরে উঠে তখন $mf = R - mg$ বা $R = mg + mf = mg\left(1 + \frac{f}{g}\right)$

$\therefore$ মানুষের আপাত ওজন $=$ প্রকৃত ওজন $+ \frac{f}{g} \times$ প্রকৃত ওজন অর্থাৎ মানুষ ভারী বোধ করে।

যখন লিফ্‌ট নীচে নামে তখন প্রকৃত ওজন Rএর চেয়ে বেশী হয়।

$\therefore \; mg - R = mf$ বা $R = mg - mf = mg\left(1 - \frac{f}{g}\right)$

$\therefore$ মানুষের আপাত ওজন $=$ প্রকৃত ওজন $- \frac{f}{g} \times$ প্রকৃত ওজন ; $\therefore$ মানুষ হাল্‌কা বোধ করে।

অঙ্ক : A man weighing 8 stones stands on a lift moving with $f = 16$ ft./second². What is his apparent weight ($= R$) when the lift (*a*) is ascending and (iii) is descending ? $g = 32$ ft./second².

(i) $R =$ প্রকৃত ওজন $+ \frac{f}{g} \times$ প্রকৃত ওজন $= ৮ + \frac{১৬}{৩২} \times ৮ = ১২$ ষ্টোন,

(ii) $R =$ প্রকৃত ওজন $- \frac{f}{g} \times$ প্রকৃত ওজন $= ৮ - \frac{১৬}{৩২} \times ৮ = ৪$ ষ্টোন।

৫১। **পৃথিবীর ভর ও ঘনাঙ্ক :** মনে কর পৃথিবীর ভর $=$ M গ্রাম, ব্যাসার্ধ $=$ R সেঃ মিঃ এবং ভূপৃষ্ঠে কোন পদার্থের ভর $= m$. গ্রাম।

পদার্থের উপর অভিকর্ষ বল $= G.\frac{M.\,m}{R^2}$ ডাইন $=$ পদার্থের ওজন $= mg$ ডাইন,

$$\therefore G\frac{M\,m}{R^2} = mg \qquad \therefore M = g.\frac{R^2}{G} \ldots (\text{ক})$$

আমরা জানি $R = ৪০০০$ মাইল, $G = ৬{\cdot}৬৬ \times ১০^{-৮}$ এবং $g = ৯৮১$ সেঃ মিঃ/সেকেণ্ড^{২}

$$\therefore M = \frac{৯৮১ \times (৪০০০ \times ১৭৬০ \times ৩ \times ৩০{\cdot}৪৮)}{৬{\cdot}৬৬ \times ১০^{-৮}} = ৬{\cdot}১ \times ১০^{২৭} \text{ গ্রাম}$$

যদি ρ পৃথিবীর গড় ঘনাঙ্ক হয় তবে $M = \frac{৪}{৩}\pi R^{৪}\rho \cdots$(ঘ)

(ক) ও (খ) হইতে $\rho = \frac{৩\, g}{৪\pi G.\, R}$ $\left(\pi = \frac{২২}{৭}\right)$

$$= \frac{৩ \times ৯৮১}{৪ \times \frac{২২}{৭} \times ৬{\cdot}৬৬ \times ১০^{-৮} \times ৪০০০ \times ৫২৮০ \times ৩০{\cdot}৮৪}$$

$$= \frac{৩ \times ৯৮১ \times ৭ \times ১০^{৮}}{৪ \times ২২ \times ৬{\cdot}৬৬ \times ৪০০০ \times ৫২৮০ \times ৩০{\cdot}৮৪} = ৫{\cdot}৪৬ \text{ গ্রাম প্রতি ঘঃ সেঃ মিঃ}$$

৫২। **ভারকেন্দ্র** (Centre of Gravity) : যে কোন পদার্থকে কতকগুলি ক্ষুদ্র কণার সমষ্টি ধরা যাইতে পারে। অভিকর্ষ বল প্রত্যেক কণা ও পৃথিবীর কেন্দ্রের মধ্যে ক্রিয়া করিবে এবং ইহা প্রত্যেক কণার ভরের সমানুপাতিক হইবে। পৃথিবীর কেন্দ্র প্রায় ৪০০০ মাইল দূরে বলিয়া এই সমস্ত পরস্পর বলকে সমান্তরাল এবং লম্বভাবে নীচের দিকে ক্রিয়া করে বলিয়া ধরা যাইতে পারে। এই সকল সমান্তরাল বলগুলির লব্ধি মোট অভিকর্ষবল হইবে। ইহা পরিমাণে পদার্থের ওজনের সমান হইবে। এই লব্ধি বা পদার্থের ওজনের ক্রিয়া-রেখা (line of action) একটি বিন্দুর মধ্য দিয়া অতিক্রম করিবে। এই বিন্দুকে **ভারকেন্দ্র** (C. G) বলে। যে নির্দিষ্ট বিন্দুর মধ্য দিয়া কোন পদার্থের ওজনের ক্রিয়া-রেখা অতিক্রম করে তাহাকে ভারকেন্দ্র বলে। পদার্থকে যে কোন অবস্থানে ঘুরাইয়া রাখ বিভিন্ন অভিকর্ষ বলগুলি সমান্তরাল বলিয়া উহাদের পরিমাণ ও দিক বদলাইবে না কারণ উহারা সর্বদাই কেন্দ্রাভিমুখী হইবে। সুতরাং উহাদের লব্ধির পরিমাণ ও দিক বদলাইবে না, ভারকেন্দ্র একই জায়গায় থাকিবে। পদার্থের আকার ও আয়তন বদলাইলে ভারকেন্দ্রের অবস্থান বদলাইবে। একটি সোজা তারের ভারকেন্দ্র তারের মধ্য-বিন্দুতে থাকিবে কিন্তু তারকে বাঁকাইয়া বৃত্ত করিলে ভারকেন্দ্র বৃত্তের কেন্দ্র হইবে। ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া ওজন নীচের দিকে ক্রিয়া করে কাজেই ভারকেন্দ্রের উপর দিকে যদি ওজনের সমান কোন বল ক্রিয়া করে

তবে পদার্থ পড়িবে না। ভারকেন্দ্র সব ক্ষেত্রে পদার্থের ভিতরে অবস্থিত নাও হইতে পারে, পদার্থের বাহিরেও থাকিতে পারে। শূন্য গ্লাসের ভারকেন্দ্র গ্লাসের মধ্যস্থিত বাতাসে থাকে।

৫৩। **ভারকেন্দ্র নির্ণয়**—স্থিতিবিদ্যার সাহায্যে বিভিন্ন আকারের পদার্থের ভারকেন্দ্র নির্ণয় করা যায়। সম ঘনাঙ্ক (uniform density) বিশিষ্ট কতকগুলি পদার্থের ভারকেন্দ্রের অবস্থান দেওয়া হইল :—

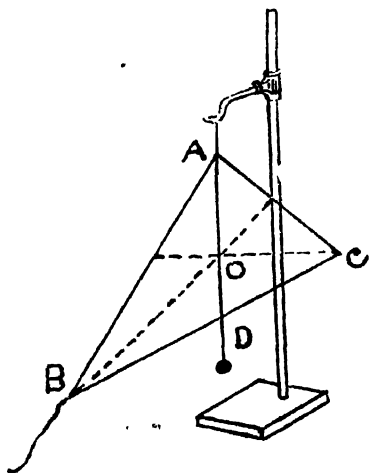
(ক) সমান মোটা সরল দণ্ডের অক্ষের ঠিক মধ্য-বিন্দু।

(খ) সমান বৃত্তাকার পাত (lamina) বা গোলক—জ্যামিতিক কেন্দ্র।

(গ) ফাঁপা বা ঘন চোঙাকৃতি পদার্থ—অক্ষের মধ্য-বিন্দু।

(ঘ) সামান্তরিক—কর্ণদ্বয়ের ছেদ-বিন্দু।

(ঙ) সমবেধ (thickness) যুক্ত ত্রিভুজাকৃতি পাত—মধ্যমাত্রয়ের (medians) ছেদবিন্দু।

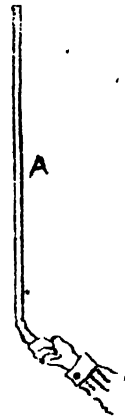
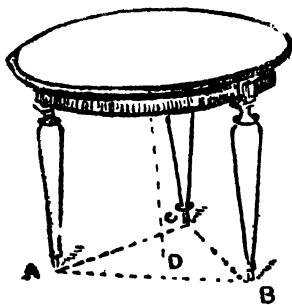
৫৪। **পাতের (lamina) ভারকেন্দ্র নির্ণয়**—কোন পদার্থকে সূতা দিয়া ঝুলাইলে ভারকেন্দ্র বিলম্ব বিন্দুর (point of suspension) মধ্য দিয়া যে লম্ব রেখা টানা যায় তাহার উপর থাকে। এই উপায়ে জ্যামিতিক আকারহীন পাতলা পাতের ভারকেন্দ্র পাওয়া যায়।

২০নং চিত্র

পরীক্ষা : (১) ABC পাতের এক কোণ সূতা দিয়া ঝুলাও। বিলম্ব-বিন্দু হইতে ওলনদড়ি D (plumb line) ঝুলাইয়া পাতের উপর লম্বরেখা টান। পাতের আর একটি কোণ এইরূপে ঝুলাও, ওলনদড়ির সাহায্যে পাতের উপর লম্বরেখা টান। দুই লম্বরেখার ছেদবিন্দু O হইল ভারকেন্দ্র। অপর একটি কোণ হইতে পাতকে ঝুলাইলে লম্বরেখা ছেদবিন্দুর মধ্য দিয়া যাইবে।

৫৫। সাম্য (Equilibrium) : দুই বা তততোধিক বলের যুগপৎ ক্রিয়ার ফলে যদি কোন পদার্থ স্থির থাকে তবে পদার্থের এই অবস্থাকে **সাম্য** বলে। এই অবস্থায় বলগুলি পরস্পর প্রশমিত (balanced) হয়। ইহাদের লব্ধির পরিমাণ হয় শূন্য। টেবিলের উপর বই রাখিলে বইএর উপর যুগপৎ দুইটি বল ক্রিয়া করে—বইএর ওজন ও টেবিলের প্রতিক্রিয়া। ইহারা সমান ও বিপরীতমুখী হয় বলিয়া বইটি সাম্য অবস্থায় থাকে।

নিম্নলিখিত বিষয়গুলি মনে রাখিবে : (ক) এক বিন্দুতে যদি কোন পদার্থকে অবলম্বন (support) দেওয়া যায় তবে সাম্য রক্ষা করিতে হইলে পদার্থের ভারকেন্দ্র সেই বিন্দুতে থাকিবে, না হয় সেই বিন্দুর মধ্য দিয়া অঙ্কিত লম্বরেখায় (vertical line) থাকিবে এবং অবলম্বনের প্রতিক্রিয়া (supporting reaction) পদার্থের ওজনের সমান ও বিপরীতমুখী হইবে। কীলকের (pivot) উপর স্থাপিত বা সূতা দ্বারা বিলম্বিত পদার্থ এইরূপ সাম্যের দৃষ্টান্ত। ওলন দড়িতে (plumb line) ভারকেন্দ্র অবলম্বন-বিন্দুর নীচে থাকে। একটা আঙ্গুলের উপর খাড়াভাবে দণ্ডায়মান লাঠির ভারকেন্দ্র A অবলম্বন বিন্দুর উপর থাকে। (২১নং চিত্র)

A

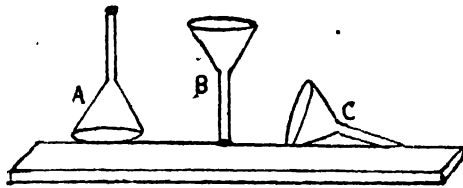
২১নং চিত্র

(খ) দুই বিন্দুতে অবলম্বিত (supported) পদার্থের সাম্য অবস্থায় পদার্থের ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া অঙ্কিত লম্বরেখা ঐ দুই বিন্দুর মধ্যে পড়িবে।

২২নং চিত্র

(গ) তিন বা ততোধিক বিন্দুর উপর অবলম্বিত পদার্থের সাম্য অবস্থায় অবলম্বন-বিন্দুগুলি পর পর যোগ করিলে যে ক্ষেত্রফল পাওয়া যায় ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া অঙ্কিত লম্বরেখার প্রান্ত এই ক্ষেত্রফলের ভিতরে পড়ে। এই ক্ষেত্রফলকে পদার্থের **ভূমি** (base) বলে। যদি লম্বরেখার প্রান্তটি ক্ষেত্রফলের বাহিরে

পড়ে তবে পদার্থটি উল্‌টাইয়া যায়। ২২নং চিত্রে টেবিলের তিনটি পায়ার প্রান্ত A, B, C পর পর যোগ করিয়া ABC ক্ষেত্রফল বা ভূমি পাওয়া গিয়াছে। টেবিলের ভারকেন্দ্র হইতে অঙ্কিত লম্বরেখার প্রান্ত D এই ভূমির মধ্যে পড়ে।

৫৬। নিম্নলিখিত ঘটনাগুলি ভারকেন্দ্রের অবস্থানের উপর নির্ভর করে :— (ক) একখানি ইটের একদিক উঠাইলে যদি ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া অঙ্কিত লম্বরেখা ইটের ভূমির মধ্যে পড়ে তবে ইটকে ছাড়িয়া দিলে ইহা পূর্ব অবস্থানে ফিরিয়া আসে। (খ) খুব বেশী উঁচুদিকে বোঝাই গরুর গাড়ী বা নৌকা একটু কাত হইলেই উল্‌টাইয়া যায়। (গ) সাধারণ দণ্ডায়মান অবস্থায় নাভির কাছে মানুষের ভারকেন্দ্র থাকে। যখন সে বোঝা বহন করে তখন তাহাকে সাম্য রক্ষার জন্য তাহার শরীরের বিভিন্ন অংশের অবস্থান এমনভাবে বদলাইতে হয় যাহাতে ভারকেন্দ্র দুই পায়ের সংযোজক রেখার উপর পড়ে। এক হাতে বোঝা থাকিলে সে অপরদিকে শরীরটাকে বাঁকায় এবং অপর হাত প্রসারিত করে। পিঠে ভার বহন করিলে সে সামনের দিকে ঝোঁকে। এক হাতে দুইটি ভার বহন করার চেয়ে দুই হাতে দুইটি ভার বহন করা সোজা। মোটা ভুঁড়িওয়ালা লোক হাঁটিবার সময় পিছনে মাথা ও কাঁধ হেলাইয়া দেয়। দড়ির উপর নাচিবার সময় খেলোয়াড় হাতে একটি ছাতা রাখে যাহাতে ছাতার ও খেলোয়াড়ের যুক্ত ভারকেন্দ্র দড়ির উপর থাকে। (ঘ) ভূমির ক্ষেত্রফল যত বিস্তৃত হয় পদার্থের সুস্থিতি (stability) তত বাড়ে কারণ তখন পদার্থকে বেশী বাঁকাইলেও ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া অঙ্কিত লম্বরেখা ভূমির বা ক্ষেত্রফলের মধ্যে পড়ে। দৃষ্টান্ত পিসার বিখ্যাত হেলান স্তম্ভ (Leaning tower of Pisa)।

৫৭। **সাম্যের বিভিন্ন অবস্থা :** স্থিতি-সাম্য (equilibrium at rest) তিন প্রকার কথা। (ক) **সুস্থিত** (Stable) : যখন কোন স্থির পদার্থকে একটুখানি নাড়াইয়া দিলে ইহা কয়েকবার দুলিবার পর পূর্বাবস্থানে ফিরিয়া আসিতে চেষ্টা করে তখন তাহার সাম্যকে **সুস্থিত** বলে। নিশ্চল অবস্থায় দোলক, তুলার দণ্ড, শোয়ান ডিম—এইরূপ উদাহরণ। (খ) **দুঃস্থিত** (Unstable) : যখন কোন স্থির পদার্থকে একটুখানি নাড়াইয়া দিলে সে পূর্বাবস্থান হইতে আরও দূরে সরিয়া যায় তখন তাহার সাম্যকে **দুঃস্থিত**

(Unstable) বলে। দাঁড়ান ডিম, আঙ্গুলের উপর দণ্ডায়মান ছড়ি—উদাহরণ। (গ) **উদাসীন** (Neutral) : যখন কোন স্থির পদার্থকে নাড়াইয়া দিলে সে পূর্বাবস্থানে না ফিরিয়া নূতন অবস্থানেই স্থির থাকে তখন তাহার সাম্যকে **উদাসীন** বলে। অনুভূমিক তলে স্থাপিত গোলক, পার্শ্বে শায়িত কুপী,—উদাহরণ। একটি কুপী তিন সাম্যে থাকিতে পারে। পীঠের (base) উপর দাঁড় করাইলে ইহার সাম্য সুস্থিত হয় (২৩নং চিত্রে A), দাঁড়ার (stem)

২৩নং চিত্র

উপর দাঁড় করাইলে ইহার সাম্য দুঃস্থিত হয় (২৩ চিত্রে B), পার্শ্বে রাখিলে ইহার সাম্য উদাসীন হয় (২৩ চিত্রে C)।

৫৭ক। **সাম্য ভেদের কারণ :** কোন স্থির পদার্থে ভারকেন্দ্রের বিভিন্ন অবস্থানের জন্য এই তিন প্রকার সাম্যের উদ্ভব হয়। সুস্থিত সাম্যে ভারকেন্দ্র পদার্থের সর্বাপেক্ষা নিম্ন অংশে থাকে। সুতরাং সামান্যএকটু নাড়াইলে ইহা উপরের দিকে উঠিয়া যায়। পদার্থকে ছাড়িয়া দিলে ভারকেন্দ্র পূর্বের নিম্ন অবস্থানে ফিরিয়া আসে। দুঃস্থিত সাম্যে ভারকেন্দ্র যথাসম্ভব বিলম্ব-বিন্দুর উপরে থাকে। একটু নাড়াইলে ভারকেন্দ্র নীচের দিকে আসে। তখন পদার্থ বেশী সুস্থিত হয়। উদাসীন সাম্যে ভারকেন্দ্র উঠেও না বা নামেও না। সুস্থিত সাম্যই স্থির পদার্থের ভাল অবস্থা। ইহাতে পদার্থ উল্‌টাইবার আশঙ্কা থাকে না। সুতরাং কোন দুঃস্থিত পদার্থকে সুস্থিত সাম্যে আনিতে হইলে ভারযোগ করিয়া তার ভারকেন্দ্রকে যথাসম্ভব নিম্নদিকে রাখিতে হয়। এই কারণে জাহাজে কিংবা মালগাড়ীতে তলার দিকে খুব ভারী জিনিষ (ballast) রাখিতে হয়। দোতালা বাসের নীচের জায়গায় বেশী লোক বসাইতে হয়। সীসা খুব ভারী পদার্থ সেইজন্য তলায় সীসাবিশিষ্ট চোঙাকৃতি কর্ক, বা দোয়াত-দানি, হাল্‌কা-পুতুল (Tumbler), পার্শ্বে সীসাবিশিষ্ট কাঠের চাকতি সাধারণ অবস্থায় সোজা দাঁড়াইয়া থাকে। এক দিকে কাত করিয়া ছাড়িয়া দিলে উহারা পুনরায় সোজা হইয়া যায়। উহাদিগের

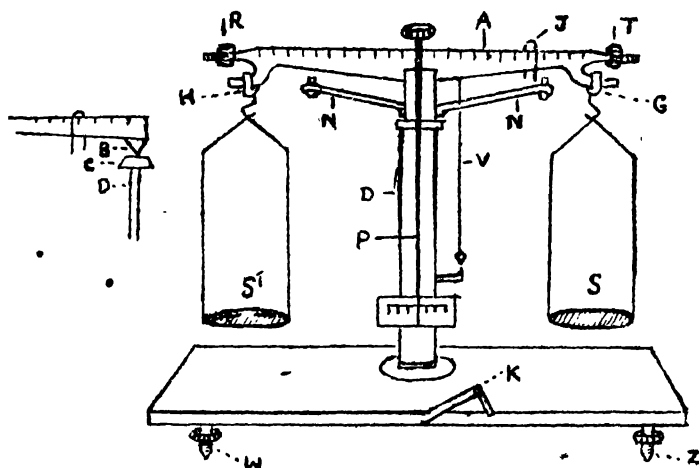
ভারকেন্দ্রকে খুব নীচের দিকে নামাইবার জন্য সীসার ভার দেওয়া হয়। কাত করিলেই ভারকেন্দ্র উপরে উঠিয়া যায়।

গতি-সাম্য : অনেক সময় গতির জন্য কোন পদার্থের সুস্থিত সাম্য হয়, গতি বন্ধ হইলেই উহা দুঃস্থিত সাম্যে আসে। চলমান সাইকেল আরোহী, ঘূর্ণ্যমান লাটিম—দৃষ্টান্ত।

৫৮। সাধারণ তুলা (Common Balance) :

(ক) **কাজ**—কোন দুই বস্তুর ভর তুলনা করার জন্য ইহা ব্যবহৃত হয়। একই স্থানে বস্তুর ভর ও ওজন সমানুপাতিক হয় অর্থাৎ দুইটি বস্তুর ভর সমান হইলে উহাদের ওজন সমান হয়। সুতরাং মানরূপে নির্দিষ্ট ভরের ওজনের সঙ্গে তুলনা করিয়া অপর বস্তুর ভর নিরূপণ করা হয়।

(খ) **বিবরণ :** তুলার নিম্নলিখিত অংশ থাকে : (১) **দাঁড়ি** (A-beam) —ইহা একটি অনুভূমিক ধাতব দণ্ড। ইহার মধ্যস্থানে অবস্থিত ইস্পাত বা অ্যাগেট (agate) নির্মিত একটি ক্ষুরধার (knife-edge) আসনে (B) ইহা বসান থাকে। এই ক্ষুরধারকে আলম্ব (fulcrum) বলে। আসনটি ত্রিভুজাকৃতি প্রিজম (prism)। আবার ঘর্ষণ কম করিবার জন্য আসনটি একটি ক্ষুদ্র ইস্পাতের পাতের (C) উপর বসান থাকে। পাতটি আবার একটি লম্ব থামের (D-vertical pillar) উপর বসান থাকে। এইরূপ ব্যবস্থা দ্বারা দাঁড়িটি আসনের উপর সহজে ঘুরিতে পারে, কিন্তু পড়ে না। এই দাঁড়ির দুই প্রান্তে দুইটি অ্যাগেট নির্মিত ক্ষুরধার থাকে। দাঁড়িটা শক্ত হওয়া দরকার যাহাতে ওজনের ভারে বাঁকিয়া না যায়। (২) **ষ্টীরাপ** (stirrup)—দাঁড়ির দুই প্রান্তের ক্ষুরধারের উপর দুইটি V-আকৃতির ষ্টিরাপ G ও H আছে, ইহা হইতে পাল্লা ঝুলান হয়। (৩) **পাল্লা**—(S's-scale pan) : ইহারা সমান ওজনের হয়। একটিতে নির্দিষ্ট বাটখারা এবং অপরটিতে দ্রব্য রাখা হয়। (৪) **হাতল** (handle or key)— তুলার পাটাতনে (base board) সংযুক্ত হাতল (K) ঘুরাইয়া থামকে উঠান বা নামান যায়। (৫) **তুলা স্থির রাখিবার ব্যবস্থা** (arresting arrangement)— যখন তুলা ব্যবহৃত হয় না তখন হাতল ঘুরাইয়া লম্বথামকে নীচু করা হয়; ইহাতে দাঁড়ি আর ঘোরে না এবং দুইটি অবলম্বনের (N) উপর বসে এবং পাল্লা

দুইটি কাঠের পাটাতনের উপর স্থির থাকে। এই ব্যবস্থায় আসনের উপর চাপ পড়ে না এবং উহার ধারগুলি ভোঁতা হয় না। (৬) **রোহী (Rider J)**—আলম্বের দুই দিকের অংশকে দাঁড়ির বাহু (arm) বলে। প্রত্যেক বাহু ১০টি সমান অংশে ভাগ করিয়া দাগ কাটা থাকে। একটি বাঁকা ধাতুর তার দাঁড়ির উপর বসান থাকে। ইহাকে রোহী বলে। রোহীর-এর ওজন ১০ মিলিগ্রাম। যদি রোহীকে দাঁড়ির স্কেলের *n* অংশে বসান হয় তবে সেই দিকের পাল্লার ওজনের সঙ্গে *n* মিলিগ্রাম

২৪নং চিত্র

যোগ করিতে হয়। বাহির হইতে একটি দণ্ড দ্বারা রোহীকে বাহুর যথাস্থানে বসান হয়। (৭) **কাঁটা (pointer-P)**—ইহার উপর প্রান্ত দাঁড়ির মধ্য বিন্দুতে আঁটা। ইহার নিম্ন প্রান্ত একটি হাতীর দাঁতের স্কেলের (M) গায়ে এদিক-ওদিক নড়িতে পারে। যখন দাঁড়িটি ঠিক অনুভূমিক থাকে তখন কাঁটার নিম্নপ্রান্ত স্কেলের মধ্য-বিন্দুতে স্থির থাকে। স্কেলটি থামের নিম্নদেশে আঁটা থাকে। (৭) **স্ক্রু (screw R, T)** দাঁড়ির দুই প্রান্তে দুইটি স্ক্রু থাকে। ইহাদিগকে সামান্য ঘুরাইয়া দাঁড়িকে অনুভূমিক করা হয়। (৯) কাঠের পাটাতনের নীচে স্ক্রু (W, Z) ঘুরাইয়া থামকে ঠিক লম্ব (vertical) রাখা হয়। থামের পাশে একটি **ওলনদড়ি (V)** ঝুলান থাকে। ইহার সাহায্যে তুলা ঠিক লম্ব হইয়াছে কিনা

বোঝা হয়। (১০) **ওজনের বাক্স (weight-box)**—ইহাতে থাপে থাপে বিভিন্ন বাটখারা সাজান থাকে। বাটখারা তোলার জন্য চিম্‌টে থাকে। গ্রাম-বাটখারাগুলি পিতলের ও ভগ্নাংশ গ্রাম বাটখারাগুলি এ্যালুমিনিয়ামের তৈরি হয়। এই বাটখারাগুলির মান এইরূপ—(ক) ১০০. ৫০, ২০, ২০, ১০, ৫, ২, ২, ১ গ্রাম চিহ্নিত বাটখারা। (খ) ০'৫, ০'২, ০'২, ০'১. '০৫, '০২, '০২, '০১ গ্রাম যথাক্রমে ৫০০, ২০০, ২০০, ১০০, ৫০, ২০, ২০,·১০ মিলিগ্রাম চিহ্নিত থাকে। (১১) বায়ু যাহাতে ওজনের সময় কোন ব্যাঘাত না জন্মায় সেইজন্য একটি কাচের বাক্সের মধ্যে সমগ্র তুলা যন্ত্রটি বসান থাকে।

(গ) **ওজন করার নীতি :** যে কোন নির্দিষ্ট স্থানে পদার্থের ওজন ∝ ভর। তুলাটি একটি প্রথম শ্রেণীর লিভার (Lever of the first class)। অতএব যখন দাঁড়িটি অনুভূমিক থাকিবে তখন দুইদিকের ওজনের ভ্রামক (moment) লইলে, একদিকের ভর × সেই দিকের বাহুর দৈর্ঘ্য = অপর দিকের ভর × সেই দিকের বাহুর দৈর্ঘ্য কিংবা (পাল্লার ওজন + পদার্থের ওজন) × বাহুর দৈর্ঘ্য = (পাল্লার ওজন + বাটখারার ওজন) × বাহুর দৈর্ঘ্য। অতএব যদি দুইটি পাল্লা সম ওজনের হয় এবং দুই বাহু যদি দৈর্ঘ্যে সমান হয় তবে পদার্থের ওজন = বাটখারার ওজন অর্থাৎ চেষ্টন (effort) ও ভার সমান হয়।

(ঘ) **ব্যবহার :** পাটাতনের নীচের ও দাঁড়ির দুই প্রান্তের স্ক্রু ঘুরাইয়া যন্ত্রের লেভেল ঠিক কর যাহাতে কাঁটা স্কেলের মধ্যবিন্দুর দুই ধারে সমান অংশ পর্যন্ত দোলে। দাঁড়িকে থামাইয়া বামদিকের পাল্লায় জিনিষ রাখ এবং ডানদিকের পাল্লায় বাটখারা রাখিয়া যাও যতক্ষণ না কাঁটা পুনরায় সমানভাবে মধ্যবিন্দুর দুই ধারে দোলে। পদার্থের ওজন = বাটখারার ওজন।

৫৯। **ভাল তুলার গুণ** (Requisites of a good balance): ভাল তুলা (ক) **নির্ভুল** (True), (খ) **সূক্ষ্ম** বা **সুবেদী** (Sensitive) ও (গ) **সুস্থিত**, (Stable) হইবে।

(ক) **নির্ভুলতার সর্ত**—দুই পাল্লা খালি রাখিলে বা দুই পাল্লায় সমান ওজন রাখিলে যদি দাঁড়ি অনুভূমিক থাকে তবে তুলা নির্ভুল হইবে। নির্ভুলতার জন্য নিম্নলিখিত ব্যবস্থা থাকা চাই (i) দাঁড়ির ভারকেন্দ্র লম্বভাবে আলম্বের

(fulcrum) নীচে থাকিবে। ইহাতে দাঁড়িটা দুইদিকে সমানভাবে দোলে। (ii) তুলার দুই বাহুর দৈর্ঘ্য সমান হইবে ও (iii) দুই পাল্লার ওজন সমান হইবে।

নির্ভুলতার সর্তের প্রমাণ : মনে কর দুই পাল্লার ওজন $=s$ ও s', বাহুর দৈর্ঘ্য $=a$ ও b। নির্ভুলতার সর্ত হইল (ক) পাল্লা খালি রাখিলে বা (খ) দুই পাল্লায় সমান ওজন রাখিলে দাঁড়ি অনুভূমিক হইবে।

∴ (ক) খালি পাল্লায় ভ্রামক লইলে $s.a.=s'.b$······(১)

(খ) দুই পাল্লায় সমান ওজন w রাখিয়া ভ্রামক লইলে

$$(w+s).\ a=(w+s').\ b\cdots\cdots\cdots$$

বা $$w.a+s.a=w.b+s'.b\cdots\cdots\cdots(২)$$

(২) হইতে (১) বাদ দিয়া $w.a=w.b$ ∴ $a=b$

(১) হইতে $s\,a=s'.b$ ∴ $s=s'$.

অর্থাৎ নির্ভুলতার জন্য দুই বাহুর দৈর্ঘ্য ও দুই পাল্লার ওজন সমান হইবে।

নির্ভুলতার পরীক্ষা : দুই পাল্লা খালি রাখিয়া দেখ দাঁড়ি অনুভূমিক আছে কিনা। এখন এক পাল্লায় জিনিষ অপর পাল্লায় বাটখারা রাখ যতক্ষণ দাঁড়ি অনুভূমিক না হয়। জিনিষ ও বাটখারা বদলাবদলি কর। এখনও যদি দাঁড়ি অনুভূমিক হয় তবে তুলা নির্ভুল আছে বুঝিতে হইবে।

(খ) সূক্ষ্মতার সর্ত : ওজনের অতি সামান্য পার্থক্যের জন্য যদি দাঁড়িটা অনুভূমিক অবস্থান হইতে ঘুরিয়া যায় তবে তুলা সূক্ষ্ম আছে বুঝিতে হইবে। ভাল তুলায় $\frac{1}{10}$ মিলিগ্রামের পার্থক্য বুঝা যায়।

সূক্ষ্মতার জন্য সর্ত হইল :—

(ক) দাঁড়ির ভারকেন্দ্র আলম্বের খুব নিকটে থাকিবে।

(খ) দাঁড়ির ও পাল্লার ওজন কম হইবে।

(গ) দাঁড়ির দুই বাহু লম্বা হইবে।

(গ) সুস্থিতার সর্ত : দাঁড়িটিকে সামান্য নাড়াইলে যদি উহা অল্প সময়ে পূর্বেকার সাম্য অবস্থানে ফিরিয়া আসে তবে তুলা সুস্থিত আছে বুঝিতে হইবে। এই গুণের জন্য ভারকেন্দ্র আলম্বের বেশী নীচে থাকা দরকার। সূক্ষ্মতার সর্তের ইহা বিপরীত। সূক্ষ্ম ওজনের তুলায় ভারকেন্দ্র আলম্বের নিকটে এবং

সাধারণ ওজনের তুলায় ভারকেন্দ্র দূরে থাকে। কারণ সাধারণ তুলায় তাড়াতাড়ি ওজন করা দরকার।

৬০। **ওজনের পদ্ধতি** (Methods of weighing):

(ক) **সমদোলন পদ্ধতি** (Method of Equal Oscillation): দাঁড়িটি একবার নড়িলে অনেকবার দুলিবার পর তবে স্থির হয়। সেইজন্য পাল্লা খালি রাখিয়া হাতল ঘুরাইয়া তুলাকে চালু কর। তুলা নির্ভুল হইলে কাঁটা স্কেলের মধ্য-বিন্দুর দুইধারে সমান অংশ পর্যন্ত দুলিবে। তুলা বন্ধ করিয়া বামদিকের পাল্লায় পদার্থ রাখ, ডান দিকের পাল্লায় বাটখারা রাখ। তুলা চালু কর। যতক্ষণ পর্যন্ত কাঁটা আবার দুইধারে সমান সংখ্যক অংশ পর্যন্ত না দোলে ততক্ষণ বাটখারা চাপাইয়া যাও।

পদার্থের ভর = বাটখারার ভরের যোগফল।

তুলা নির্ভুল হইলে কম ওজন বাহির করিতে এই পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়।

(খ) **দুইবার ওজন পদ্ধতি** (Method of Double Weighing): তুলা নির্ভুল না হইলে নিম্নলিখিত দুইবার ওজন করার পদ্ধতির দ্বারা পদার্থের প্রকৃত ওজন যথা ভর পাওয়া যায়:

(১) **বোর্ডার বিনিময় পদ্ধতি** (Borda's Method of Substitution): ডান পাল্লায় একটি নির্দিষ্ট বস্তু রাখ। বাম পাল্লায় বালি বা অন্য বস্তু রাখিয়া সম-ওজন (counterpoise) কর যাহাতে দাঁড়িটি অনুভূমিক হয়। ডান পাল্লার নির্দিষ্ট বস্তুটি তুলিয়া তৎস্থানে ওজনের বাক্স হইতে বাটখারা রাখ যতক্ষণ না দাঁড়িটি অনুভূমিক হয়। এই বাটখারাগুলির যোগফল নির্দিষ্ট বস্তুর ওজনের তথা ভরের সমান কারণ তুলা ভুল বা নির্ভুল হউক একই পাল্লায় বস্তুটি ও বাটখারাগুলি পর পর রাখিলে উহারা নির্দিষ্ট বালির সহিত সমান ওজন হয়।

(২) **গস্ পদ্ধতি** (Gauss' Method): তুলার বাহুদ্বয় কেবল অসমান হইলে এই পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়। বাহুদ্বয় অসমান হইলে একই বস্তু দুই পাল্লায় রাখিয়া ওজন করিলে ওজন পৃথক হইবে।

মনে কর দুই বাহুর দৈর্ঘ্য = a ও b, কোন বস্তুর প্রকৃত ওজন = W,

এক পাল্লায় বস্তুর ওজন $= W_1$, অপর পাল্লায় বস্তুর ওজন $= W_2$

$$W.a = W_1.b.\ ;\ W_2.a = W.b \cdots (২৭)$$

গুণ করিয়া $W^2ab = W_1W_2ab \quad \therefore\ W = \sqrt{W_1W_2} \cdots$ (২৮)

প্রকৃত ওজন = দুই আপাত ওজনের জ্যামিতিক মধ্যক (Geometric mean)। যদি ওজনের পার্থক্য খুব কম হয়, প্রকৃত ওজন তাহাদের যোগফলের অর্ধেক হইবে।

বাহুদ্বয়ের অনুপাত (ratio) :—

(২৭) হইতে $\frac{a}{b} = \frac{W_1}{W},\ \frac{a}{b} = \frac{W}{W_2}$

$$\therefore\ \frac{a^2}{b^2} = \frac{W_1}{W} \times \frac{W}{W_2} \text{ বা } \frac{a}{b} = \sqrt{\frac{W_1}{W}} \quad (২৯)$$

৬১। **বোকা ব্যবসায়ী :** একজন ব্যবসায়ী অসমান বাহু বিশিষ্ট তুলা ব্যবহার করিয়া একই ওজনের জিনিষ দুইবার দুই পাল্লায় ওজন করিয়া দিল। মনে কর জিনিষের প্রকৃত ওজন $= W$, এক পাল্লায় ওজন $= W_1$, অপর পাল্লায় ওজন $= W_2$. খরিদ্দার $2W$'র পরিবর্তে $W_1 + W_2$ ওজনের জিনিষ পায়।

$$W_1 + W_2 - 2W = W.\frac{a}{b} + W.\frac{b}{a} - 2W$$

$$= W.\frac{a^2 + b^2 - 2ab}{ab} = W.\frac{(a-b)^2}{ab}$$

যখন a ও b অসমান তখন a ও b এর মান যাহাই হউক না কেন, $(a-b)^2$ সর্বদাই ধনাত্মক (positive) রাশি হইবে।

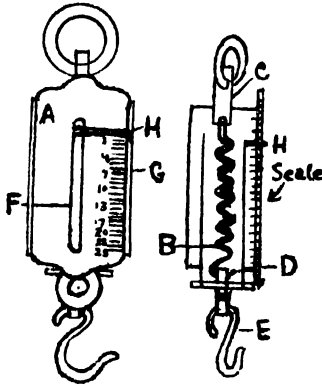
$$\therefore\ W_1 + W_2 > 2W.$$

ব্যবসাদার $W\frac{(a-b)^2}{ab}$ ওজন ঠকে।

অঙ্ক : An object weighs 20 lb. in one and 21 lb. in the other pan. When both scale pans are empty the scales balance. What is the defect of the balance and what is the true weight of the object (P. U., 1934).

Ans : বাহু দুইটি অসমান। প্রকৃত ওজন $= \sqrt{২০ \times ২১} = ২০.৪৯৪$ পাঃ।

৬২। **স্প্রীং-তুলা** (Spring Balance): (১) **কাজ**: এই তুলা দিয়া যে কোন বল যথা পদার্থের ওজন মাপ করা বা তুলনা করা হয়। ইহাকে **বল-মাপক** (dynamometer) বলে।

(২) **বিবরণ**: ইহার নিম্নলিখিত অংশগুলি থাকে: (ক) একটি ধাতব আবরণের (A) মধ্যে একটি পেচাল (spiral) স্প্রীং (B) থাকে। স্প্রীংয়ের উপর প্রান্ত আবরণের মাথায় একটি আংটার (C) সঙ্গে আটকান থাকে এবং নিম্ন প্রান্ত লম্ব দণ্ডে (D) আটকান থাকে। এই দণ্ডের শেষে একটা হুক (E) আছে। হুক হইতে ওজন করিবার পদার্থ ঝুলান হয়। (খ) আবরণের পিছন দিকটা গোল, সামনের দিকে সমতল পাত (A) থাকে। পাতে লম্বালম্বি একটি ছিদ্র (F) থাকে। ছিদ্রের পার্শ্বে পাতের গায়ে পূর্ব হইতে জানা ওজন দ্বারা পাউণ্ড বা গ্রামে দাগ কাঁটা স্কেল (G) থাকে। স্প্রীংয়ের সঙ্গে একটা আবদ্ধ কাঁটা (H-pointer) স্কেলের গা বরাবর নড়িতে পারে।

২৫নং চিত্র

(৩) **ওজনের নীতি**: স্প্রীংএর শেষে যে কোন বল প্রয়োগ করিলে উহা দৈর্ঘ্যে বাড়ে। বলের পরিমাণ যত বাড়ে প্রসারণ তত বাড়ে। সুতরাং হুকে কোন পদার্থ চাপাইলে পৃথিবীর অভিকর্ষ বল পদার্থকে টানিবে। এই টানে স্প্রীং প্রসারিত হইবে। আবার ওজন হইল অভিকর্ষ বলের মাপ: সুতরাং স্প্রীংয়ের প্রসারণ ও পৃথিবীর অভিকর্ষ বল তথা ওজন সমানুপাতিক হয়। মনে রাখিবে:— ক স্থিতিস্থাপক গণ্ডীর (elastic limit) মধ্যে স্প্রীংয়ের প্রসারণ রাখিতে হইবে; (খ) স্প্রীং এমন স্থিতিস্থাপক পদার্থ দ্বারা তৈয়ার হওয়া দরকার যে হুক হইতে বিভিন্ন ওজনের পদার্থ সরাইয়া লইলে স্প্রীং পূর্ব অবস্থায় ফিরিয়া আসে। বল $\propto$ স্প্রীংয়ের প্রসারণ—এই নিয়মকে হুকের নিয়ম (Hooke's law) বলে। (পরে দ্রষ্টব্য)। অতএব নিম্নলিখিত উপায়ে জানা

ওজন দিয়া পূর্ব হইতে স্কেল অংশাঙ্কিত করা থাকিলে হুকে কোন পদার্থ ঝুলাইয়া স্কেলের গায়ে কাঁটার অবস্থান দেখিয়া কোন পদার্থের ওজন জানা যায়। মনে রাখিবে প্রসারণের সঙ্গে তুলনা করিয়া ওজন পাওয়া যায়।

(৪) **অংশাঙ্কন** (Graduation)**:** উপরের আংটা দিয়া যন্ত্রকে লম্বভাবে ঝুলাও। কাঁটার প্রাথমিক অবস্থানে o শূন্য দাগ দাও। এবার ১০ গ্রাম করিয়া ওজন হুকে ঝুলাও এবং পাতের গায়ে কাঁটার অবস্থানে ওজনের অঙ্কের দাগ কাট। যতক্ষণ না স্প্রীংয়ের দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ না হয় ততক্ষণ এইরূপ কর। এইবার ওজন একে একে সরাইয়া লও। পুনরায় কাঁটার অবস্থান স্থির কর। ওজনকে ভুজ ও প্রসারণকে কোটি ধরিয়া লেখ (Graph) আঁকিলে লেখটি একটি সরল রেখা হইবে। লেখ হইতে যে কোন প্রসারণের আনুসঙ্গিক ওজন বহির্ করা যায়।

৬৩। সাধারণ তুলা ও স্প্রীং তুলার তুলনা: (ক) দুই তুলার নীতি সম্পূর্ণ বিভিন্ন। সাধারণ তুলার এক পাল্লায় বস্তু ও অপর পাল্লায় বাটখারা থাকে। বস্তু ও বাটখারায় উপর পৃথিবীর যে কোন স্থানে অভিকর্ষ বল সমানভাবে ক্রিয়া করে। সুতরাং এক স্থান হইতে অন্যস্থানে বস্তুর যে ওজনের হ্রাস-বৃদ্ধি হয় তাহা সাধারণ তুলায় ধরা যায় না। একই বস্তুর ওজন সাধারণ-তুলায় পৃথিবীর সর্বত্র একই হইবে। সাধারণ তুলায় বস্তুর ভরের তুলনা করা যায়। স্প্রীং-তুলায় একটি মাত্র বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণে স্প্রীং প্রসারিত হয়, সুতরাং স্প্রীং তুলায় নির্দিষ্ট পদার্থের প্রকৃত ওজন পাওয়া যায়। পৃথিবীর আকর্ষণ যেখানে বেশী স্প্রীংয়ের প্রসারণ সেখানে বেশী হইবে। স্প্রীংতুলায় বিভিন্ন স্থানে একই বস্তুর ওজনের হ্রাস-বৃদ্ধি ধরা যায়। (খ) সাধারণ তুলায় সর্বত্র বস্তুর ভরের পরিমাণ পাওয়া যায়। স্প্রীং তুলার স্কেল যে স্থানে অংশাঙ্কিত (graduated) করা হয়, কেবলমাত্র সেখানে বস্তুর ভর নিরূপিত হয়। (গ) স্প্রীং তুলায় পূর্বে স্কেল অন্য কোন এককে অংশাঙ্কিত করা থাকিলে অন্য কোন বল মাপা যায়।

৬৪। স্প্রীং তুলায় মেরুদ্বয়ে ও নিরক্ষরেখায় ওজনের পার্থক্য: মেরুদ্বয় অপেক্ষা নিরক্ষ অঞ্চলে 'g' কম হইবে, কাজেই নিরক্ষ অঞ্চলে ওজনও কম হইবে। স্প্রীং তুলায় স্প্রীংএর প্রসারণ $\propto$ বস্তুর ওজন

সুতরাং একই বস্তু স্প্রীংয়ের হুকে ঝুলাইলে স্প্রীংএর প্রসারণ নিরক্ষরেখা অপেক্ষা মেরুদ্বয়ে বেশী হইবে এবং নির্দেশক কাঁটা মেরুতে বেশী নামিয়া আসিবে।

অঙ্ক : If the weight of a thing is 490 grams by a common balance at a place where $g = 980$ cm/second^2, how much the thing would weigh on a spring balance at the equator ($g = 978$) and at the pole ($g = 982$)?

বস্তুর ভর $= \frac{\text{ওজন}}{\text{ত্বরণ}} = \frac{৪৯০}{৯৮০}$। ইহা নিরক্ষ রেখায় ও মেরুতে একই থাকে।

নিরক্ষরেখায় ওজন $= W = mg = \frac{৪৯০}{৯৮০} \times ৯৭৮ = ৪৮৯$ গ্রাম। মেরুতে ওজন $= W_1 = mg = \frac{৪৯০}{৯৮০} \times ৯৮২ = ৪৯১$ গ্রাম।

৬৫। **পতনশীল বস্তুর নিয়ম** (Laws of Falling Bodies) :—

কেবলমাত্র পৃথিবীর আকর্ষণে কোন বস্তু উচ্চে নিশ্চল অবস্থান হইতে নীচে নামিতে থাকিলে তাহার গতি নিম্নোক্ত নিয়মাধীন হয় :—

(ক) বায়ুশূন্য স্থানে (vacuum) সকল বস্তুই উচ্চ হইতে সমান দ্রুততায় নীচে নামে। (শূন্যে বায়ুর কোন প্রতিরোধ থাকে না।)

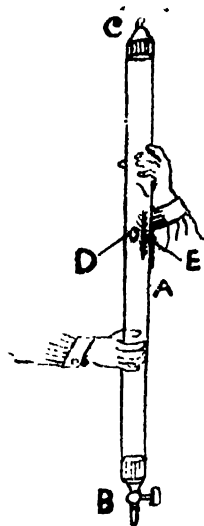
(খ) পতনশীল বস্তু পতনকালে কোন নির্দিষ্ট সময়ে যে বেগ প্রাপ্ত হয় তাহা পতনকালের সহিত সমানুপাতিক হয়।

(গ) পতনশীল বস্তু নির্দিষ্ট সময়ে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাহা পতনকালের বর্গের সমানুপাতিক হয়। বর্তমান পদার্থ-বিজ্ঞানের জনক গ্যালিলিও এই নিয়মগুলি আবিষ্কার করেন।

৬৬। **নিয়মের ব্যাখ্যা :** (ক) **প্রথম নিয়ম**—ইহা আমাদের সাধারণ-অভিজ্ঞতার বিপরীত বলিয়া মনে হয় কারণ আমরা দেখিতে পাই যে একই উচ্চস্থান হইতে ছাড়িয়া দিলে হাল্‌কা জিনিষ (যথা পাখীর পালক, কাগজ) অপেক্ষা ভারী জিনিষ (পাথরের টুকরা, ধাতুর বল) বেশী তাড়াতাড়ি মাটিতে পড়ে। গ্যালিলিওর পূর্বে এরিষ্টটলের শিষ্যরা মনে করিতেন এই দ্রুততার পার্থক্য পদার্থের ওজনের পার্থক্যের জন্যই হয়। অর্থাৎ দশ পাউণ্ড ওজন এক পাউণ্ড ওজনের দশ গুণ দ্রুত নামে। গ্যালিলিও ১৮০ ফুট উচ্চ পিসার হেলান স্তম্ভ (tower) হইতে বিভিন্ন আকারের ও উপাদানের বল নিক্ষেপ করিয়া দেখাইলেন তাহারা প্রায়

একই সময়ে মাটিতে পড়ে। যেটুকু সময়ের পার্থক্য হয় তাহা **বায়ুর প্রতিরোধের জন্য।** যতই পদার্থের আয়তন বাড়িবে ততই বায়ুর প্রতিরোধ বাড়িবে। গ্যালিলিও সিদ্ধান্ত করিলেন **শূন্যে সব পদার্থই সম দ্রুততায় পড়ে।** কিন্তু বায়ুনিষ্কাশক যন্ত্রের অভাবে তখন এই সিদ্ধান্ত পরীক্ষা করা সম্ভবপর হয় নাই। ষাট বৎসর পরে বায়ুনিষ্কাশক যন্ত্রের আবিষ্কারের পর নিউটন এই নিয়ম পরীক্ষা করেন। এই বিখ্যাত পরীক্ষার নাম গিনি ও পালক

গিনি ও পালক পরীক্ষা (Guinea and Feather Experiment) :

প্রায় এক মিটার দীর্ঘ শক্ত কাচ নল (A) লও। ইহার এক মুখ একটি ধাতব মুট্কি (C) (cap.) প্যাঁচ দিয়া বন্ধ কর, অপর মুখে একটি প্যাঁচ-কল (B) আছে। প্যাঁচকলের সহিত একটি নল দিয়া বায়ুনিষ্কাশক যন্ত্রের সহিত যোগ করা যায়। মুট্কির প্যাঁচ খুলিয়া নলের মধ্যে একটি পালক (E) ও একটি গিনি (D) মুদ্রা রাখ। মুট্কি বন্ধ কর। বায়ুনিষ্কাশক যন্ত্র দিয়া ভিতরের বায়ু বাহির করিয়া প্যাঁচকল বন্ধ কর। নলটী হঠাৎ উল্‌টাইয়া ধর। দেখ যে পালক ও মুদ্রা একই সঙ্গে নীচে পড়িতেছে এবং একই সময়ে নলের অপর প্রান্ত স্পর্শ করিতেছে। পালক ও মুদ্রার উপর বায়ুর অসমান প্রতিরোধ দূরীভূত হওয়ায় উহারা একই সময়ে নীচে পড়ে। নলে বায়ু ঢুকাও, নলটীকে পুনরায় হঠাৎ উল্‌টাইয়া দাও। এবার গিনি পালকের আগে অপর প্রান্ত স্পর্শ করিবে।

২৬নং চিত্র।

কাগজ ও মুদ্রা পরীক্ষা : এক খণ্ড বড় মুদ্রা (টাকা) বা টিনের চাক্তি ও উহার চেয়ে ছোট আকারের কাগজের চাক্তি লও। উচু জায়গায় পাশাপাশি রাখিয়া উহাদের ছাড়িয়া দাও। ধাতব চাকৃতি আগে মাটি স্পর্শে করিবে। আবার ধাতব চাকৃতির উপর কাগজের চাকৃতি রাখিয়া একসঙ্গে ছাড়িয়া দিলে উহারা

একই সময়ে মাটি স্পর্শ করিবে কারণ বায়ুর প্রতিরোধ কেবল ধাতব চাকতির উপর কাজ করে।

(খ) **দ্বিতীয় নিয়ম :**—যদি বস্তুটি পতনকাল t সময়ে v বেগ প্রাপ্ত হয় তবে $v \propto t$···(৩০)। অতএব যদি প্রথম সেকেণ্ডের শেষে বেগ প্রতি সেকেণ্ডে ৩২ ফুট হয় তবে দ্বিতীয় ও তৃতীয় সেকেণ্ডের শেষে বেগ যথাক্রমে ৩২ × ২ ফুট, ৩২ × ৩ ফুট প্রতি সেকেণ্ড হইবে।

(গ) **তৃতীয় নিয়ম :**—যদি বস্তুটি h উচ্চতা হইতে t সময়ে পড়ে তবে $h \propto t^2$ ···(৩১)। অতএব যদি প্রথম সেকেণ্ডে বস্তুটি ১৬ ফুট পড়ে তবে দ্বিতীয় ও তৃতীয় সেকেণ্ডে যথাক্রমে ২² × ১৬, ৩² × ১৬ ফুট পড়িবে।

এই নিয়মগুলি Atwood যন্ত্র, নত-তল (Inclined Plane) দ্বারা পরীক্ষা করা যায়।

গণিতের প্রমাণ : লম্বভাবে পতনশীল প্রত্যেক বস্তুর সম ত্বরণ 'g' থাকে এবং বস্তু যখন নিশ্চল অবস্থা হইতে পড়িতে সুরু করে তখন $u=o$ হয়। মনে কর t সময়ে দ্রব্যটি h দূরত্ব নামিল। অতএব গতির সমীকরণে (২০ অঃ) f-এর স্থলে g ও u-এর স্থলে o রাখিলে আমরা নিম্নলিখিত সমীকরণ পাই : $v=gt$, $h=\frac{1}{2}gt^2$.

$\therefore$ g যখন অপরিবর্তনীয় থাকে তখন $v \propto t$ এবং $h \propto t^2$.

বৃষ্টির ফোঁটার পতন :—বড় ফোঁটা ছোট ফোঁটার চেয়ে বেশী বেগে পড়ে। কেন? ছোট ফোঁটার বেগের হার বায়ুর বেশী প্রতিরোধ পায়। বায়ুর প্রতিরোধ $\propto$ প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $\propto \pi \times r^2$ (r = ফোঁটার ব্যাসার্ধ)। কিন্তু ফোঁটার ওজন $\propto$ আয়তন $\propto \frac{4}{3}\pi \times r^3$.

$\therefore$ যত r বাড়ে ফোঁটার উপর বায়ুর প্রতিরোধের চেয়ে ফোঁটার ওজন বেশী বাড়ে। কাজেই বড় ফোঁটা বেশী বেগে পড়ে।

৬৭। পতনশীল বস্তুর গতি : (ক) লম্বভাবে পতনশীল বস্তুর গতি : কোন বস্তু সোজা লম্বভাবে নিম্নে পতিত হইলে ইহার ত্বরণ হয় 'g'.

(খ) **নিম্নে অভিক্ষিপ্ত (projected) বস্তুর গতি :** যদি একটি ঢিল u প্রাথমিক বেগের সহিত নিম্নে অভিক্ষিপ্ত হয় এবং t সময় পরে যদি উহার বেগ v হয় এবং উহা যে উচ্চতা হইতে নামে তাহা h হয় তবে

$$v=u+gt, \quad h=ut+\tfrac{1}{2}gt^2, \quad v^2=u^2+2gh \text{.........(৩২)}$$

(গ) **ঊর্ধ্বে অভিক্ষিপ্ত বস্তুর গতি ঃ** ঢিলটি ঊর্ধ্বে অভিক্ষিপ্ত হইলে ঢিলের ত্বরণ ঋণাত্মক হয়, ঢিলটির বেগ ক্রমশঃ কমিতে কমিতে সর্বোচ্চ স্থানে শূন্য হয়। আবার নিম্নে ক্রম বর্ধমান ত্বরণে পড়িতে থাকে। অতএব ঊর্ধ্ব গতিতে ত্বরণ $= -g$. এবং $v = u - gt$, $h = ut - \frac{1}{2}gt^2$, $v^2 = u^2 - 2gh$.

সর্বোচ্চ দূরত্ব ঃ সর্বোচ্চ স্থানে ঢিলটি নিমেষের জন্য থামে। $\therefore$ $v = o$

$\therefore$ $o = u^2 - 2gh$, $\therefore$ সর্বোচ্চ স্থানের দূরত্ব $h = \dfrac{u^2}{2g}$. ...(৩৩)

মনে কর সর্বোচ্চ স্থানে পৌছিতে t সময় লাগে। $\therefore$ $v = o = u - gt$ $\therefore$ $t = u/g$.

আবার সর্বোচ্চ স্থান হইতে মাটিতে পড়িতে u/g সময় লাগে

$\therefore$ ঢিলটির যাত্রা হইতে মাটিতে পুনরায় স্পর্শ পর্যন্ত সময় $= \dfrac{2u}{g}$ ....(৩৪)

(ঘ) যদি কোন বস্তু অনুভূমিক অভিমুখে অভিক্ষিপ্ত হয় তবে তাহার গতিপথ একটি অধিবৃত্ত (parabola) রচনা করে।

অঙ্ক (১) • Two stones are projected vertically upwards at the same instant. One ascends 112 ft. higher than the other and returns to earth 2 seconds later. Find the velocities of projection of the stones. ($g = 32$ ft. second²) (C. U. 1935)

মনে কর দুইটি ঢিলের বেগ $= u$ ও $u_১$ এবং বৃহত্তম উচ্চতা $= h$ ও $h_১$

$$h = \frac{u^২}{২g},\ h_১ = \frac{u_১^২}{২g}$$

$$\therefore\ h - h_১ = \frac{u^২}{২g} - \frac{u_১^২}{২g} = ১১২ \text{ or } u^২ - u_১^২ = ১১২ \times ২ \times ৩২ \cdots \quad (১)$$

যদি t ও $t_১$ উহাদের পতন কাল হয় তবে $t = \dfrac{২u}{g}$, $t_১ = \dfrac{২u_১}{g}$

$$\therefore\ t - t_১ = \frac{২u}{g} - \frac{২u_১}{g} = ২\ \therefore\ u - u_১ = ৩২ \cdots\cdots(২)$$

(১) কে (২) দিয়া ভাগ করিলে $u + u_১ = ২২৪ \cdots\cdots(৩)$

(২) ও (৩) হইতে $u = ১২৮$ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে, $u_১ = ৯৬$ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে।

(২) A stone is dropped from a rising balloon at a height of 200 ft. above the ground and it reaches the ground in 6 seconds. What was the velocity of the balloon just at the moment when stone was dropped ? (C. U. 1941).

ঊর্ধ্বগামী বেলুনের গতিকে ধনাত্মক মনে করিলে ঢিলের নিম্নদিকে পতনকে ঋণাত্মক মনে করিতে হইবে। সুতরাং $S = ২০০$ ফুট, $g = -৩২$ ফুট/সেকেণ্ড^২, $t = ৬$ সেকেণ্ড।

$$\therefore \quad -২০০ = u\,৬ - \tfrac{১}{২}.\,৩২.\,৬^২ \quad (\therefore \quad S = ut + \tfrac{১}{২}(-g)t^২)$$

$$\text{or } ৬u = ৩৬ \times ১৬ - ২০০ = ৩৭৬ \quad \therefore \quad u = \frac{৩৭৬}{৬} = ৬২\cdot৭ \text{ ফুট/সেকেণ্ড।}$$

(গ) It is required to pierce a war-balloon at an elevation of ¼ mile by means of a rifle bullet fixed immediately under it. If, to pierce the balloon, the bullet must have a velocity of 40 ft. sec on on reaching the balloon with what velocity must it leave the muzzle. (Pat. U. 1932).

মনে কর গুলির প্রাথমিক বেগ $= u$ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে

$h = \tfrac{১}{৪}$ মাইল $= ১৩২০$ ফুট। $v^২ = u^২ + ২gs$

$$\therefore \quad ৪০^২ = u^২ - ২ \times ৩২ \times ১৩২১$$

$$\therefore \quad u^২ = ৮৬০৮০ \text{ বা } u = ২৯৩\cdot৪ \text{ ফুট সেকেণ্ডে}$$

প্রশ্ন

1. What is meant by acceleration due to gravity ? How do you prove that it varies from place to place on the earth's surface. How does it vary ? (C. U. 1933).

2. Distinguish between mass and weight. State the units in which they are expressed in C. G. S systems (C. U. 1941).

3. How are mass and weight of a body affected by variation in latitude ? Is weight an essential property of matter ?

(Pat. U. 1920, '32).

4. Explain : We compare masses of two bodies in a common balance while from a spring balance we can get the true weight of a

body (C. U. 1947). Describe and explain the action of a spring balance (C. U. 1927).

5. Describe an experiment to show that gravity causes all objects to fall with the same speed. Show that the distance travelled by a falling body during 't' time = distance travelled during the first second multiplied by t^2

মনে কর বস্তুটি t সময়ে h_t দূরত্ব নামে। বস্তুটির প্রাথমিক বেগ $v=0$.

$$\therefore \quad h_t = \tfrac{1}{2} gt^2$$

$\therefore$ এক সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত দূরত্ব $= h_1 = \frac{1}{2} gt^2 = \frac{1}{2}g$.

$$\therefore \quad h_t = \tfrac{1}{2}g.t^2 = h_1 t^2.$$

6. Prove that a particle moving uniformly in a circle experiences an acceleration towards its centre. What is its magnitude? (C. U. 1942).

7. State the laws of falling bodies and illustrate them by examples (C. U. 1941).

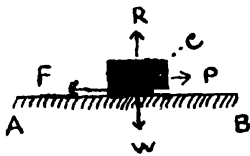
8. What are the requisities of a good balance? What test would you make to ascertain whether the arms of a balance are of equal length and how do you eleminate the errors due to such inequalities. (C. U. 1941).

9. State where a body weighs more—at the poles or at the equator. Give reasons. How do you prove the difference experimentally? (C. U. 1931).

10. Explain with a neat sketch the principle and construction of a physical balance. What is the method of double weighing adopted in the case of an inaccurate balance? (C. U. 1930).

৬৮। **ঘর্ষণ** (Friction) : যে বল কোন পদার্থের গতিকে কমাইয়া দেয় বা তাহাকে গতিশূন্য করে সেই বলকে **বাধা** বা **প্রতিরোধ** (resistance) বলে। মাটির উপর দিয়া কোন পদার্থ টানিলে, বায়ু প্রবাহের বিপরীত দিকে যাইলে, জলে নৌকা চলিলে মাটি, বায়ু ও জল পদার্থের গতিকে বাধাপ্রদান করে। একটি পদার্থ Aএর উপর দিয়া অপর একটি পদার্থ B টানিলে স্পর্শতলে (surface of contact) Bএর গতিরোধক একটি বলের উদ্ভব হয়; ইহার নাম **ঘর্ষণ**। তলের অমসৃণতার জন্য এই বলের উদ্ভব হয়। বরফ মসৃণ বলিয়া বরফের উপর

চলিলে গতিরোধক কোন ঘর্ষণ বলের উদ্ভব হয় না ; ফলে পা পিছলাইয়া যায়। ঘর্ষণ বলের অভিমুখ গতির বিপরীত দিকে হয় এবং স্পর্শতলের সমান্তরাল হয়।

৬৯। **ঘর্ষণের প্রকার**:—(ক) **সীমাস্থ ঘর্ষণ** (Limiting Friction): AB টেবিলের উপর একখান ইট C রাখ। ইটের উপর দুইটি বল ক্রিয়া করে। ইটের ওজন W লম্বভাবে নীচের দিকে ক্রিয়া করে, টেবিলের প্রতিক্রিয়া R উপরের দিকে ক্রিয়া করে। যতক্ষণ ইট স্থির থাকিবে ততক্ষণ W = R হয়। এখন মনে কর টেবিলের তলের সমান্তরালে ইটের উপর সামান্য বল P প্রয়োগ করা হইয়াছে। সঙ্গে সঙ্গে স্পর্শতলে একটি ঘর্ষণ বলের উদ্ভব হইবে। ইহা ইটের গতিকে বাধা দিবে। মনে কর F = ঘর্ষণ বল। একটি নির্দিষ্ট সীমা

২৭নং চিত্র

পর্যন্ত P বাড়াইলে একই হারে F বাড়িবে এবং সব সময়েই P = F হবে। অতএব দেখা যায় যে F একটি স্বয়ং নিয়ন্ত্রিত (self-adjusting) বল। যতক্ষণ ইটটি স্থির থাকে ততক্ষণ W = R, এবং P = F হয়। P এই নির্দিষ্ট সীমা অতিক্রম করিলে F আর বাড়িবে না অর্থাৎ গতিরোধক বাধা কম হইবে। ইট Pএর অভিমুখে চলিবে। ইট চলিবার ঠিক পূর্ব মুহূর্তের ঘর্ষণের পরিমাণকে **সীমাস্থ ঘর্ষণ** বলে।

(খ) যখন ইট নড়িতে আরম্ভ করে তখন ইটের বেগের মাত্রাকে অব্যাহত রাখার জন্য সীমাস্থ ঘর্ষণের চেয়ে একটু কম ঘর্ষণ দরকার হয়। ইহাকে **বিসর্প** বা **গতীয় ঘর্ষণ** (Sliding বা Dynamic friction) বলে।

৭০। **ঘর্ষণের নিয়ম**: (ক) ঘর্ষণের অভিমুখ গতির অভিমুখের বিপরীত হয়। (খ) ঘর্ষণের পরিমাণের সহিত অভিলম্ব বলের (normal reaction) অনুপাত (ratio) ধ্রুবক (constant) হয়। (গ) **এই অনুপাত দুইটি স্পর্শতলের সামগ্রী ও প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। ইহা উহাদের আকৃতি বা বিস্তৃতির**

উপর নির্ভর করে না। এই ধ্রুবক অনুপাতকে ঘর্ষণাঙ্ক (Coefficient of Friction) বলে। ∴ যদি সীমাস্থ ঘর্ষণ = F, অভিলম্ব বল = R হয় তবে

$$\text{ঘর্ষণাঙ্ক } \mu = \frac{F}{R} \cdots (৩৫)$$

৭১। **ঘর্ষণের উপকারিতা :** ঘর্ষণ বলের উদ্ভব না হইলে আমরা মাটির উপর দিয়া হাঁটিতে পারিতাম না, পা পিছ্লাইয়া যাইত, দেওয়ালে পেরেক পুঁতিতে পারিতাম না, গাছে উঠিতে পারিতাম না, দড়িতে গিট দিতে পারিতাম না। বরফ বা শেওলা মসৃণ বলিয়া ইহাদের ঘর্ষণ বল থাকে না। উহাদের উপর চলিতে গেলে পা পিছ্লাইয়া যায়। যন্ত্রপাতির বেগ-বৃদ্ধির জন্য ঘর্ষণ-বল নানা উপায়ে কমান হয়। যন্ত্রের চাকায় তৈল, ভ্যাসেলিন, চর্বি দেওয়া হয়, ঘর্ষণ কমাইবার জন্য লোহার মসৃণ রেলের উপর দিয়া ট্রেন, ট্রাম চালান হয় এবং গাড়ীর গোলাকার চাকা থাকে। গাড়ীর চাকায় রবারের বেড় দেওয়া হয়। তুলা যন্ত্রে এ্যাগেটের ক্ষুরধার (Knife-edge) এবং ঘড়িতে jewel ব্যবহার করা হয়। যখন একটি পদার্থ অপর পদার্থের উপর দিয়া সরিয়া চলে (slides) তখন **বিসর্প ঘর্ষণের** উদ্ভব হয়। মাটির উপর দিয়া কোন পদার্থ টানিলে ইহার উদ্ভব হয়। কোন গোল পদার্থ অন্য কোন পদার্থের উপর দিয়া গড়াইয়া চলিলে আবর্ত ঘর্ষণের (Rolling friction) উদ্ভব হয়। আবর্ত ঘর্ষণ ... চেয়ে কম সেইজন্য কাজের সুবিধার জন্য বিসর্প ঘর্ষণকে আবর্ত-ঘর্ষণে পরিণত করা হয়। স্থানান্তরের সুবিধার জন্য বড় বড় আসবাবপত্রের নীচে ছোট চাকা লাগান থাকে। বাই সাইকেলের চাকার অক্ষের (axle) চারিধারে শক্ত ষ্টীলের বল (ball-bearing) রাখিয়া ঘর্ষণ কমান হয়।

কার্য (Work) ও শক্তি (Energy)

৭২। **কার্য**—(ক) যখন কোন বস্তুতে বল প্রয়োগ করিলে বলের প্রয়োগ-বিন্দু বলের ক্রিয়ার অভিমুখে সরিয়া যায় তখন বলা হয় যে **প্রযুক্ত বলের দ্বারা কার্য** হইতেছে। ঘোড়া গাড়ী টানিলে, মানুষ বোঝা তুলিলে, এঞ্জিন ট্রেণ টানিলে উহারা কাজ করে। প্রত্যেক ক্ষেত্রে বলের (টানের) অভিমুখে বস্তুগুলি সরিয়া যায়। এখানে বলের দ্বারা কার্য সম্পাদিত হইতেছে।

(খ) যখন প্রয়োগ-বিন্দু বলের ক্রিয়ার বিপরীত দিকে সরিয়া যায় তখন বলা হয় প্রযুক্ত **বলের বিরুদ্ধে** কার্য করা হইতেছে। মানুষ যখন বোঝা তোলে তখন সে অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে কার্য করে। ঘোড়া যখন গাড়ী টানে তখন সে ঘর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কার্য করে।

(গ) বল প্রয়োগ করিলেও যদি কোন বস্তু না সারে তবে কোন কার্য হয় না। একটা মোটা পাথরকে যথাশক্তি ঠেলিতে চেষ্টা কর, উহা নড়িবে না: এখানে তুমি কোন কার্য করিলে না যদিও তুমি বল প্রয়োগ করিলে।

৭৩। **কার্যের মাপ :** (ক) প্রয়োগ-বিন্দু যতটা সরে সেই দূরত্বের ও বলের গুণফলই কার্যের পরিমাপ। যদি কোন বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল P প্রয়োগ-বিন্দুকে বলের দিকে S দূরত্ব সরাইয়া লইয়া যায় এবং কার্য যদি W হয় তবে

$$W = P.\ S. \cdots (৩৬)$$

যদি m ভরবিশিষ্ট দ্রব্য h দূরত্ব তোলা যায় এবং কার্য যদি W হয় তবে

$$W = mgh. \cdots (৩৭)$$

(খ) যদি সরণের (displacement) অভিমুখ ও বলের অভিমুখের মধ্যে θ কোণ উৎপন্ন হয় তবে সরণের অভিমুখে বলের উপাংশ হইবে $P \cos \theta$

$$\therefore\ W = P\, S \cos \theta \cdots (৩৮)$$

(গ) বলের ক্রিয়া-রেখার (line of action) সমকোণে বলের কোন উপাংশ না থাকায় বলের ক্রিয়া-রেখার সমকোণে কোন কার্য হয় না।

৭৪। **কার্যের একক :** (ক) **চরম একক** (Absolute Unit)—এক একক বল এক একক দূরত্ব যাইলে যে কার্য হয় তাহাই কার্যের একক। C. G. S প্রণালীতে এক ডাইন বল প্রয়োগ-বিন্দুকে নিজের দিকে এক সেণ্টিমিটার সরাইয়া দিলে যে কার্য হয় তাহাকে **আর্গ** (Erg) বলে। F. P. S প্রণালীতে এক পাউণ্ডাল বল প্রয়োগ-বিন্দুকে এক ফুট নিজের দিকে সরাইয়া দিলে যে কার্য হয় তাহাকে **ফুট-পাউণ্ডাল** (Foot Poundal) বলে। এই দুই একক চরম একক।

(খ) **মহাকর্ষীয় একক :** C. G. S প্রণালীতে এক গ্রাম ভরকে লম্বভাবে এক সেণ্টিমিটার তুলিতে যে কার্য হয় তাহাকে **গ্রাম-সেণ্টিমিটার**

একক বলে। F. P. S প্রণালীতে এক পাউণ্ড ভরকে লম্বভাবে এক ফুট তুলিতে যে কার্য হয় তাহাকে **ফুট-পাউণ্ড** বলে।

এই এককগুলির মান খুব কম বলিয়া কার্যতঃ **জুল** (Joule) ও **কিলোগ্রাম-মিটার** একক ব্যবহার করা হয়। ১ জুল = ১০^৭ আর্গ।

দুই এককের সম্পর্ক : আমরা পূর্বে দেখিয়াছি, বলের চরম একক × g = বলের মহাকর্ষীয় একক। ∴ ১ ফুট পাউণ্ড = ৩২.২ (g) ফুট পাউণ্ডাল, ১ গ্রাম-সেন্টিমিটার = ৯৮১ (g) আর্গ। ১ ফুট পাউণ্ড = ১.৩৬ × ১০^৭ আর্গ = ১.৩৬ জুল।

৭৫। **ক্ষমতা** (Power) : কার্য করিবার হারকে **ক্ষমতা** বলে। ∴ ক্ষমতা = মোট কার্য ÷ সময়। C. G. S প্রণালীতে ক্ষমতার চরম একক হইল এক আর্গ কার্য প্রতি সেকেণ্ড এবং F. P. S প্রণালীতে এক ফুট পাউণ্ডাল কার্য প্রতি সেকেণ্ড। প্রতি সেকেণ্ডে ৫৫০ ফুট-পাউণ্ড কার্য করিবার ক্ষমতাকে এক **অশ্ব-শক্তি** (Horse power H. P.) বলে। জেমস্ ওয়াট কর্তৃক নিয়োজিত অশ্ব এক মিনিটে ২২০ ফুট গভীর খনি হইতে ১৫০ পাউণ্ড কয়লা তুলিয়াছিল। সেইজন্য এই একককে অশ্বশক্তি বলে। প্রতি সেকেণ্ডে ১ জুল বা ১০^৭ আর্গ কাজ করিবার ক্ষমতাকে **ওয়াট** (Watt) বলে। ১০০০ ওয়াট = ১ কিলোওয়াট। ১ অশ্বশক্তি = ৫৫০ ফুট-পাউণ্ড প্রতি সেকেণ্ড = ৭৪৬ × ১০^৭ আর্গ প্রতি সেকেণ্ড = ৭৪৬ ওয়াট। ∴ ১ কিলোওয়াট = ১০০০ ÷ ৭৪৬ = ১.৩৪ অশ্বশক্তি।

অঙ্ক (১) If clouds were one mile above the earth and rain fell sufficient to cover one square mile at sea-level, $\frac{1}{2}$ an inch deep, how much work was done in raising the water to the clouds ?

(C. U. 1920)

বৃষ্টিজলের আয়তন = ১ বর্গ মাইল × $\frac{১}{২}$ ইঞ্চি

$= (১৭৬০ \times ৩)^২ \times \frac{১}{২} \times \frac{১}{১২}$ ঘন ফুট

এই বৃষ্টি জলের ওজন $= (১৭৬০ \times ৩)^২ \times \frac{১}{২৪} \times ৬২.৫$ পাউণ্ডস্

∴ এই জলকে এক মাইল তুলিতে কার্য $= \frac{৫২৮০^২}{২৪} \times ৬২.৫ \times ১৭৬০ \times ৩$

$= ৩৮.৩৩২৮ \times ১০^{১৩}$ ফুট পাউণ্ডস্।

(২) A piston is moved along a cylinder against a constant pressure p. Find an expression for work done in a stroke.

(C. U. 1941)

মনে কর পিষ্টনের মুখের প্রস্থচ্ছেদ বা ক্ষেত্রফল $= a$, মনে কর p চাপের বিরুদ্ধে পিষ্টন s দূরত্ব সরিয়া আসে।

পিষ্টনের মুখে ক্রিয়াশীল মোট বল $=$ চাপ $\times$ ক্ষেত্রফল $= p - a.$

কার্য $W =$ বল $\times$ সরণ $= p.a \times s$ আর্গ $= p \times a.\, s$

$= p \times v$ ($\therefore$ $s\,a =$ ক্ষেত্রফল $\times$ দৈর্ঘ্য $=$ আয়তন $= v$)

$\therefore$ $W =$ চাপ $\times$ আয়তন অর্থাৎ পিষ্টন যে জায়গা সরে তার আয়তন ও চাপের গুণফল হইল কার্যের পরিমাণ। যদি p, a ও s-কে C. G. S প্রণালীতে প্রকাশ করা হয় তবে W-র একক হইবে আর্গ। যদি উহাদিগকে F. P. S. প্রণালীতে প্রকাশ হয় তবে W-র একক হইবে ফুট পাউণ্ডাল।

(৩) Convert a foot-poundal into ergs.

$$১ \text{ পাউণ্ডাল} = \frac{১}{৩২\text{·}২} \times ১ \text{ পাউণ্ডের ওজন} = \frac{১}{৩২\text{·}২} \times ৪৫৩\text{·}৬ \text{ গ্রাম}$$

$$= \left(\frac{১}{৩২\text{·}২} \times ৪৫০\text{·}৬ \times ৯৮১\right) \text{ ডাইন ; ১ ফুট} = ৩০\text{·}৪৮ \text{ সেঃ মিঃ।}$$

$$\therefore \quad ১ \text{ ফুট পাউণ্ডাল} = \frac{৩০\text{·}৪৮ \times ৪৫৩\text{·}৬ \times ৯৮১}{৩২\text{·}২} \text{ আর্গ}$$

$$= (৪\text{·}২১২ \times ১০^{৫}) \text{ আর্গ।}$$

দ্রষ্টব্য : সাধারণ ঘোড়ার ক্ষমতা $= \frac{৩}{৪}$ অঃ শঃ, সুস্থ মানুষের ক্ষমতা $= \frac{১}{১০}$ অঃ শঃ, মটর এঞ্জিনের ক্ষমতা ৫ হইতে ৩০ অঃ শঃ, যুদ্ধ জাহাজের ক্ষমতা ১২০,০০০ অঃ শঃ পর্য্যন্ত হইতে পারে।

৭৬। **শক্তি**—অবস্থান বা অবস্থা অনুযায়ী পদার্থের কার্য করিবার সামর্থ্যকে (capacity) **শক্তি** বলে। আমাদের শক্তি আছে বলিয়া আমরা কার্য করিতে পারি। বায়ুর শক্তি আছে বলিয়া ইহা কার্য করে। মোট কার্যের পরিমাণই হল শক্তির মাপ $\therefore$ **শক্তি-অপসারিত দূরত্ব $\times$ বল**। অতএব কার্যের ও শক্তির একক এক। মনে রাখিবে কার্যের হারকে বলে ক্ষমতা, মোট কার্যের পরিমাণকে

বলে শক্তি। শক্তির সহিত কার্য করিবার সময়ের সহিত কোন সম্পর্ক নাই। যখন কোন পদার্থ বলের বিরুদ্ধে কাজ করে তখন পদার্থ শক্তি হারায়। যখন কোন পদার্থের উপর বল ক্রিয়া করে তখন পদার্থ শক্তিলাভ করে।

৭৭। **শক্তির প্রকারভেদ ঃ** শক্তি প্রধানতঃ দুই প্রকারের :—

(ক) **গতীয় শক্তি** (Kinetic energy)—পদার্থ হয় স্থির থাকে, না হয় গতিশীল হয়। গতির জন্য পদার্থের কার্য করিবার ক্ষমতাকে **গতীয় শক্তি** বলে। কঠিন, তরল বা গ্যাসীয় প্রত্যেক গতিশীল পদার্থের স্থির হইবার পূর্বে কোন বাধার মুখে কার্য করিবার ক্ষমতা থাকে। ঢিলের দ্রুতগতিতে জানালার কাঁচ ভাঙ্গিয়া যায়। গতির জন্য ঢিলে শক্তি জন্মায়। জলপ্রপাতের গতিশীল জলের দ্বারা বা প্রবহমান বায়ুর দ্বারা বড় বড় কল কারখানা চলে। অধিক বেগ সম্পন্ন বন্দুকের গুলিতে এত বেশী গতীয় শক্তি থাকে যে উহা শক্ত পদার্থের কণাগুলির আসঞ্জন বলের (cohesive force) বিরুদ্ধে কাজ করিয়া উহাকে ভেদ করিয়া যায়।

(খ) **স্থৈতিক শক্তি** (Potential energy) : কোন পদার্থের বিশেষ স্থানে স্থিতির জন্য বা পদার্থের বিভিন্ন অংশের অবস্থানের (configuration) জন্য কার্য করিবার ক্ষমতাকে **স্থৈতিক শক্তি** বলে। স্থৈতিক শক্তি প্রকৃত সঞ্চিত শক্তি। আমি একখানি ইটকে ছাদে তুলিলে পৃথিবীর আকর্ষণের বিরুদ্ধে ইটের উপর আমি কার্য করি। আমার শক্তি ক্ষয় হয় এবং ঠিক সমপরিমাণ কার্য করিবার শক্তি ইট লাভ করে। ইটটা পড়িবার সময় এই সঞ্চিত স্থৈতিক শক্তির দ্বারা কার্য করে। ঘড়ির স্প্রীংকে দম দিবার সময় গুটাইতে হয় অর্থাৎ ইহার বিভিন্ন অংশের অবস্থান বদলাইলে উহার উপর কার্য করা হয়। এইরূপে উহার ভিতর স্থৈতিক শক্তির সঞ্চার হয়। স্প্রীং মুক্ত হইলে এই স্থৈতিক শক্তির দ্বারা ঘড়ি চলে। বাঁকান ধাতব পাত, বিস্তৃত রবার, বেহালার তার, বিস্তৃত ধনুকের জ্যা, সঙ্কুচিত বায়ু, সকলেই আকার-বিকৃতির জন্য স্থৈতিকশক্তি লাভ করে। ইহাদের নির্দিষ্ট অবস্থানে ফিরিয়া যাইতে দিলে ইহারা সকলেই কার্য করে।

৭৮। **শক্তির মাপ ঃ** (ক) **গতীয় শক্তির মাপ ঃ** স্থির হইবার পূর্বে একটি বাহ্যিক প্রযুক্ত (external impressed) বলের বিরুদ্ধে গতিশীল

বস্তু যতটা কার্য করিতে পারে তাহার পরিমাণই গতীয় শক্তির মাপ ঃ মনে কর কোন মুহূর্তে m ভরবিশিষ্ট পদার্থ u বেগে চলিতেছে। স্থির হইবার পূর্বে কোন বলের বিরুদ্ধে ইহা কতটা কার্য করিতে পারে তাহাই হইবে ইহার গতীয় শক্তির মাপ.

মনে কর p বল ইহার গতিকে বাধা দিয়া f মন্দন উৎপন্ন করে। $\therefore p=mf$.

মনে কর p বলের ক্রিয়ায় s দূরত্ব অতিক্রম করিয়া পদার্থটি থামিয়া যায়, অর্থাৎ $v=0$ হয় তবে (৮) অনুসারে $0=u^2-2fs$ বা $u^2=2fs$ $\therefore s=\frac{u^2}{2f}$।

$\therefore$ গতীয় শক্তি = স্থির হইবার পূর্বে বলের বিরুদ্ধে সম্পন্ন কার্য = বল × সরণ।

$$=p.s.=mfs.=\tfrac{1}{2}mu^2 \;\dots\dots\dots (৩৯)$$

অতএব কোন মুহূর্তে গতীয় শক্তি = সেই মুহূর্তের বেগের বর্গের ও ভরের গুণফলের অর্ধেক।

যদি m গ্রামে ও s সেন্টিমিটারে প্রকাশিত হয় তবে গতীয় শক্তির একক হবে আর্গ।

যদি m পাউণ্ডে ও s ফুটে প্রকাশিত হয় তবে গতীয় শক্তির একক হবে ফুট-পাউণ্ডাল।

যদি p বল সরল রেখায় m ভরের উপর s দূরত্ব ক্রিয়া করিয়া বস্তুর বেগ u হইতে v-তে বর্ধিত করে তবে $v^2-u^2=2fs$. বা $s=\frac{v^2-u^2}{2f}$

$$p \text{ বল দ্বারা সম্পন্ন কার্য } = ps = mf.\frac{v^2-u^2}{2f} = \tfrac{1}{2}mv^2 - \tfrac{1}{2}mu^2. \;\cdots (৪০)$$

$\therefore$ বল দ্বারা কোন বস্তুর উপর সম্পন্ন কার্য = শেষ গতীয় শক্তি − প্রথম গতীয় শক্তি = বস্তুর গতীয় শক্তির বৃদ্ধি।

গতীয় শক্তি বেগের বর্গফলের সমানুপাতিক হয় বলিয়া মাল গাড়ীর চেয়ে মেল ট্রেণের সংঘর্ষ খুব বেশী ধ্বংসাত্মক হয়।

(খ) **স্থৈতিক শক্তির মাপ ঃ** বর্তমান অবস্থান হইতে কোন নির্দিষ্ট অবস্থানে যাইতে কোন পদার্থ যে কার্য করে বা কোন নির্দিষ্ট অবস্থান হইতে

বর্তমান অবস্থান আনিতে পদার্থের উপর যে কার্য হয় তাহার পরিমাণই হইল পদার্থের স্থৈতিক শক্তির মাপ। পৃথিবীর পৃষ্ঠে অবস্থানকেই নির্দিষ্ট বা শূন্য (Standard বা zero) অবস্থান ধরা হয়।

যদি m ভরকে পৃথিবী পৃষ্ঠ হইতে অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে h উচ্চতায় লওয়া হয় তবে অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে সম্পন্ন কার্য = বল × দূরত্ব = $mg \times h$ = mgh. = স্থৈতিক শক্তি....(8১) (∴ অভিকর্ষ বল = ওজন = mg) F. P S প্রণালীতে স্থৈতিক শক্তি = mgh ফুট পাউণ্ডাল = mh ফুট পাউণ্ড। C. G. S প্রণালীতে স্থৈতিক শক্তি = mgh আর্গ = mh গ্রাম-সেন্টিমিটার।

যখন m ভরবিশিষ্ট পদার্থ h উচ্চতা হইতে ভূপৃষ্ঠে পড়ে তখন তার ওজন mgh কার্য করে। ইহা mgh স্থৈতিক শক্তি হারায়।

ঃ 1. Find the energy stored in a train weighing 250 tons and travelling at the rate of 60 miles per hour. How much energy must be added to the train to increase its speed to 65 miles per hour? (C U. 1925)

ট্রেণের ভর = ২৫০ টন = ২৫০ × ২০ × ৪ × ২৮ পাঃ = ৫৬০০০০ পাঃ

ট্রেণের গতি = ঘণ্টায় ৬০ মাঃ = $\frac{\text{৬০} \times \text{১৭৬০} \times \text{৩}}{\text{৬০} \times \text{৬০}}$ = ৮৮ ফুট/সেকেণ্ড

∴ ট্রেণের গতীয় শক্তি $\frac{1}{2}mu^2$ = $\frac{1}{2}$ × ৫৬০০০০ × ৮৮^{২}

= ২১৬৮৩২ × ১০^{৪} ফুট পাউণ্ডাল

ট্রেণের অতিরিক্ত গতি = ঘণ্টায় ৬৫ মাইল = $\frac{\text{৬৫} \times \text{১৭৬০} \times \text{৩}}{\text{৬০} \times \text{৬০}}$ = $\frac{\text{২৮৬}}{\text{৩}}$ ফুট/সেঃ

এই সময়ে গতীয় শক্তি = $\frac{1}{2}$ × ৫৬০০০০ × ($\frac{\text{২৮৬}}{\text{৩}}$)^{২} = ২৫৪৪৭৬.৪ × ১০^{৪} ফুট পাউণ্ডাল.

∴ যোগ করিবার অতিরিক্ত গতীয় শক্তি = (২৫৪৪৭৬.৪ − ২১৬৮৩২) × ১০^{৪}

= ৩৭৬.৪ × ১০^{৬} ফুট-পাউণ্ডাল।

2. A body of mass 10 kilograms is let fall through a height of 10 metres. Find its kinetic energy when it reaches the ground and show that it is equal to potential energy. (C. U. 1946)

পড়িবার পূর্বে দ্রব্যের স্থৈতিক শক্তি $= mgh =$ ১০⁴ × ৯৮০ × ১০³ আর্গ।

$v^2 = 2gh =$ ২ × ৯৮০ × ১০ × ১০০

∴ গতীয় শক্তি $= \frac{1}{2}mv^2 =$ ½ × ১০ × ১০০০ × ২ × ৯৮০ × ১০ × ১০০

= ১০⁴ × ৯৮০ × ১০³. আর্গ

∴ স্থৈতিক শক্তি = গতীয় শক্তি.

৭৯। **শক্তির বিভিন্ন রূপ** (Forms) ও **কার্য**ঃ এই দুই প্রকার শক্তি বিভিন্ন রূপেতে প্রকাশিত হয়ঃ—যথা (ক) **যান্ত্রিক শক্তি**—পতনশীল পদার্থের শক্তি—ইহা স্থৈতিক ও গতীয় শক্তির সমন্বয়। (খ) **তাপ**—পরমাণুর গতীয় শক্তি। (গ) **আলো**—ঈথরে তরঙ্গের গতীয় শক্তি। ইহা চোখের পর্দায় আঘাত করে। (ঘ) **শব্দ**—ইহা বায়ুতে তরঙ্গের গতীয় শক্তি। ইহা কাণের পর্দায় আঘাত করে। (ঙ) **চুম্বক**—ইহা লোহা আকর্ষণ করে। (চ) **তড়িৎ**—ইহা পাখা চালায়, গাড়ী টানে। (ছ) **আণবিক শক্তি**—প্রত্যেক পদার্থের অণুগুলির বিশিষ্ট অবস্থানের জন্য স্থৈতিক শক্তি থাকে এবং অণুগুলির গতির জন্য (পরে দ্রষ্টব্য) গতীয় শক্তি থাকে। (জ) **রাসায়নিক শক্তি**—ইহা অণুগুলিকে পরস্পর আকৃষ্ট করে।

৮০। **শক্তির রূপান্তর** (Transformation)ঃ আমরা প্রতি মুহূর্তে শক্তিকে একরূপ হইতে অন্য রূপেতে পরিবর্তিত হইতে দেখিতেছি। বস্তুতঃ প্রায় প্রত্যেক প্রাকৃতিক ঘটনাই শক্তির রূপান্তরের দৃষ্টান্ত। নিম্নে কতকগুলি দৃষ্টান্ত দেওয়া গেল।

(ক) **স্থৈতিক ও গতীয়—পিণ্ডের দোলন** (Oscillation of a pendulum bob)ঃ পৃথিবীর আকর্ষণ দোলকের পিণ্ডকে সর্বোচ্চ স্থান C বা B হইতে টানিয়া সর্বনিম্ন স্থান Aতে আনে। ইহা C ও Eতে গতিহীন হয় এবং Aতে সর্বাপেক্ষা বেশী গতি প্রাপ্ত হয়। সুতরাং C ও Bতে ইহার সব শক্তিই পৃথিবীর আকর্ষণ জনিত স্থৈতিক শক্তি। যতই ইহা Aএর অভিমুখে

আসিতে থাকে ততই ইহার গতি বৃদ্ধি পায় এবং ততই স্থৈতিক শক্তি গতীয় শক্তিতে পরিণত হয়। সর্বনিম্ন স্থান Aতে ইহার সমস্ত স্থৈতিক শক্তিই গতীয় শক্তিতে পরিণত হয়। এই গতীয় শক্তির জন্য A হইতে ইহা যতই C ও Bতে উঠিতে থাকে ততই ইহার গতীয় শক্তি পুনরায় স্থৈতিক শক্তিতে পরিণত হইতে থাকে। (২৮নং চিত্র)

দোলনের যে কোন সময়ে মোট শক্তি (স্থৈতিক + গতীয়) সমান থাকে।

(খ) **পতনশীল পদার্থ** (স্থৈতিক→গতীয়→শব্দ ও তাপ): উচ্চস্থানে অবস্থিত পদার্থের শক্তি সবই স্থৈতিক। পড়িবার সময়ে স্থৈতিক শক্তি ক্রমশঃ গতীয় শক্তিতে রূপান্তরিত হয় এবং তাহার বেগ বাড়ে। মাটি স্পর্শ করিবার পূর্ব পর্যন্ত সমস্ত শক্তিই গতীয় শক্তি থাকে। মাটি স্পর্শ করিলেই গতি বন্ধ হয়। গতীয় শক্তি তাপ ও শব্দ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

(গ) **জলশক্তি** (স্থৈতিক→গতীয়→তড়িৎ→গতীয়): উচ্চস্থানে (যেমন পাহাড়ে) জলের স্থৈতিক শক্তি থাকে। নীচে পড়িবার সময় স্থৈতিক শক্তি গতীয় শক্তিতে পরিণত হয়। এই গতি দ্বারা turbineএর চাকা ঘোরান হয়। চাকার গতির দ্বারা ডাইনামো (dynamo) ঘোরে। ডাইনামোর গতীয় শক্তি হইতে তড়িৎ উৎপন্ন হয়। তড়িৎ আবার পাখা, ট্রেণ, ট্রাম চালায়।

(ঘ) **যান্ত্রিক→আলো ও তাপ** : পাথরের সঙ্গে পাথর ঠুকিলে আলো ও তাপের উদ্ভব হয়।

(ঙ) **প্রবহমান নদী** (running stream): সূর্যের তাপ শক্তিতে প্রত্যহ প্রভূত সমুদ্রজল বাষ্পীভূত হয়। এই বাষ্প উপরে উঠিয়া মেঘ হয়। উচ্চস্থানে মেঘের স্থৈতিক শক্তি থাকে। মেঘ বৃষ্টিরূপে পড়িলে মেঘের স্থৈতিক শক্তি বৃষ্টির ও নদীর জলের গতীয় শক্তিতে পরিণত হয়।

(চ) **গতীয়→আলো ও শব্দ** : কোন বস্তু বিশেষভাবে কাঁপিলে শব্দ উৎপন্ন হয়।

(ছ) **তাপের রূপান্তর** : কয়লা পুড়াইয়া তাপ পাই। জলে তাপ প্রয়োগ করিলে তাপ জলের অণুর গতি-বৃদ্ধি করিয়া জলকে বাষ্প করে ; বর্ধিতায়ন বাষ্প পিষ্টনকে ঠেলিয়া দেয় ; পিষ্টনের গতি গাড়ীর চাকা চালায়। এখানে তাপ

গাড়ীর গতীয় শক্তি:তে পরিণত হয়। গতীয় শক্তিকে লাইনের ঘর্ষণের ও বায়ুর প্রতিরোধের বিরুদ্ধে কাজ করিতে হয়। বিজলিবাতিতে তাপ আলোক শক্তিতে, এবং পদার্থের অবস্থার পরিবর্তনে তাপ আণবিক শক্তিতে পরিণত হয়।

(জ) **আলোর রূপান্তর** : আলো→তাপ : আলোক রশ্মিকে উন্নতোদর (convex) লেন্সের সাহায্যে কাগজের উপর এক বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত করিলে কাগজ পুড়িয়া যাইবে।

আলো→রাসায়নিক : ফটোগ্রাফ প্লেটের উপর আলো পড়িলে প্লেটের রাসায়নিক ক্রিয়া হয়। হাই-ড্রোজেন ও ক্লোরিণের মিশ্রণের উপর আলো পড়িলে ইহাদের রাসায়নিক ক্রিয়া হয়।

(ঝ) **শব্দের রূপান্তর** : শব্দ→যান্ত্রিক : পরবশ কম্পন (forced vibration)।

(ঞ) **চুম্বকত্ব→তাপ** : ইস্পাতের দ্রুত চুম্বকত্ব প্রাপ্তিতে ও হ্রাসে তাপের উদ্ভব হয়।

(ট) **তড়িতের রূপান্তর** : তড়িৎ প্রবাহ→গতীয় : তড়িতের সাহায্যে গাড়ী, পাখা ও ট্রামের গতি উৎপন্ন হয়; তড়িৎ প্রবাহ→তাপ : তড়িতের সাহায্যে ষ্টোভ, ইস্ত্রি ও চুল্লীতে তাপের উদ্ভব হয়। তড়িৎ প্রবাহ→শব্দ : ইলেক্ট্রিক বেল ও টেলিফোনে তড়িৎ হইতে শব্দ উৎপন্ন হয়। তড়িৎ প্রবাহ→রাসায়নিক : তড়িৎ প্রবাহ দিয়া জলের বিশ্লেষণ করা যায়।

(ঠ) **রাসায়নিক শক্তির রূপান্তর** : সূর্যের তাপে ও আলোয় বায়ুর অঙ্গারাম্ল (carbon dioxide) গ্যাস বিশ্লিষ্ট হইয়া অঙ্গার ও অক্সিজেন হয় এবং গাছপালা অঙ্গার আত্মসাৎ (assimilate) করিয়া দেহ-বৃদ্ধি করে। এই গাছপালা ভূমিকম্পে বা অন্য কোন প্রাকৃতিক বিপর্যয়ে মাটির নীচে চাপা পড়িলে মাটির ভীষণ চাপে গাছের কাঠ কয়লায় রূপান্তরিত হয়। সুতরাং কয়লা ও কাঠে প্রভূত রাসায়নিক স্থৈতিক শক্তি থাকে। যখন কয়লা ও কাঠ জ্বলে তখন এই স্থৈতিক রাসায়নিক শক্তি আলো ও তাপে রূপান্তরিত হয়। বারুদে আগুণ দিলে বিস্ফোরণ হয়। এখানে রাসায়নিক শক্তি শব্দ, আলো, তাপ ও যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

৯০ (ক) **সাম্য অবস্থা ও স্থৈতিক শক্তি ঃ** সুস্থিত সাম্যে থাকিলে কোন পদার্থের সর্বাপেক্ষা কম স্থৈতিক শক্তি, দুঃস্থিত সাম্যে সর্বাপেক্ষা বেশী স্থৈতিক শক্তি থাকে।

৯১। **শক্তির নিত্যতা** (Conservation of Energy): আমরা উপরোক্ত দৃষ্টান্ত হইতে দেখিলাম যে শক্তি এক মূর্তিতে অন্তর্ধান করে এবং অপর মূর্তিতে আবির্ভূত হয় কিন্তু কোন ক্ষেত্রেই শক্তি একবারেই ধ্বংস হয় না বা নূতন করিয়া সৃষ্ট হয় না। কোন পদার্থ যে পরিমাণ শক্তি হারায় ঠিক সেই পরিমাণ শক্তি অপর পদার্থ লাভ করে। কোন পদার্থ বা পদার্থের সমবায় (system) নিজে হইতে শক্তি সৃষ্ট করিতে পারে না। বিশ্বের মোট শক্তির পরিমাণ নির্দিষ্ট। ইহার পরিমাণ কমেও না, বাড়ে না। এই সূত্রকে **শক্তির অবিনশ্বরতা** বা **নিত্যতা** বলে। সূত্রটি এইরূপ ঃ—"কতকগুলি বস্তুর পারস্পারিক ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার ফলে শক্তি সৃষ্ট বা বিনষ্ট হইতে পারে না, কেবলমাত্র উহা এক মূর্তি হইতে অন্য এক মূর্তিতে বা অনেক মূর্তিতে রূপান্তরিত হয়। বিশ্বের মোট শক্তির পরিমাণ নিত্য থাকে।" আইনষ্টাইনের মতবাদ অনুসারে জড় শক্তিতে ও শক্তি জড়ে রূপান্তরিত হইতে পারে। পরীক্ষাগারে আণবিক শক্তির পরীক্ষার সময় এই মতবাদের সত্যতা প্রমাণিত হইয়াছে।

নিম্নের উদাহরণ শক্তির নিত্যতা প্রমাণ করে ঃ—

৯২। **পতনশীল পদার্থের স্থৈতিক ও গতীয় শক্তির যোগফল সকল সময়েই সমান ঃ**

মনে কর m ভরবিশিষ্ট পদার্থ ভূপৃষ্ঠ হইতে h উচ্চতায় আছে। এখানে ইহার সমস্ত শক্তিই স্থৈতিক এবং ইহার পরিমাণ $= mgh$ হয়। মনে কর এই স্থির অবস্থা হইতে ইহা s দূরত্ব নামিল এবং এই সময়ে ইহার বেগ $= v$. হয় $\therefore$ $v^2 = 2gs$. $\therefore$ এই মুহূর্তে পদার্থের গতীয় শক্তি $= \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m.2gs = mgs$ এবং স্থৈতিক শক্তি $= mg\ (h-s)$ $\therefore$ এই মুহূর্তে দুই শক্তির যোগফল $= mgs + mg\ (h-s) = mgh =$ প্রথম অবস্থার স্থৈতিক শক্তি।

মাটি স্পর্শ করিবার ঠিক পূর্ব মুহূর্তে পদার্থের সমস্ত শক্তিই গতীয় শক্তি। ইহার পরিমাণ $= \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m.2gh \quad (\therefore \quad v^2 = 2gh) = mgh$. এখানে স্থৈতিক শক্তি $= 0$

$$\therefore \text{ স্থৈতিক} + \text{গতীয় শক্তি} = mgh + 0 = mgh$$

অতএব পদার্থের সমস্ত পতনকালের মধ্যে পদার্থের মোট শক্তি এক থাকে যদিও ইহা এক মূর্তি হইতে অপর মূর্তিতে রূপান্তরিত হয়। যখন পদার্থ মাটিতে পড়ে তখন পদার্থের গতি বন্ধ হয় বলিয়া আপাত দৃষ্টিতে মনে হয় গতীয় শক্তি নষ্ট হইল কিন্তু তাহা প্রকৃত নহে। গতীয় শক্তি শব্দ, তাপ, ও যান্ত্রিক শক্তিতে পরিণত হয়। এই উদাহরণ শক্তির নিত্যতার একটি উৎকৃষ্ট প্রমাণ।

চিরন্তন গতি (Perpetual Motion) : শক্তির নিত্যতা সূত্র হইতে বুঝা যায় যে এমন যন্ত্র পাওয়া অসম্ভব যাহা একবার চলিলে বিনা শক্তি সরবরাহে চিরকাল চলিতে পারে। কোন যন্ত্র হইতে কার্য পাইতে হইলে সমপরিমাণ শক্তি সরবরাহ করা চাই।

৯৩। **শক্তির বিলোপ** (Dissipation) : শক্তির রূপান্তর হইতে আমরা কার্য পাই। শক্তির রূপান্তর হইতেই এঞ্জিন চলে, ট্রেণ চলে, জলশক্তি উৎপন্ন হয়। শক্তির অন্তর্ধান ও আবির্ভাব এক সঙ্গে চলিলেও প্রত্যেক রূপান্তরের ক্ষেত্রে কতকটা শক্তি আমরা আমাদের কোন কাজে লাগাইবার জন্য পাই নাই। যখন একটা বোমা প্রচণ্ড শব্দে ফাটে তখন যে আলো, তাপ ও শব্দ শক্তির উদ্ভব হয় তাহা আর আমাদের কোন কাজে লাগে না। যখন ঢিল পড়ে তখন ইহার গতীয় শক্তি শব্দ ও তাপে রূপান্তরিত হয় কিন্তু উহাদের আবার রূপান্তরিত করিয়া কোন কাজে লাগান যায় না। এঞ্জিনের প্রচণ্ড গতীয় শক্তি ঘর্ষণের ও বাতাসের প্রতিরোধে লাইনের তাপে রূপান্তরিত হয় কিন্তু ইহাদের আর ফিরিয়া পাওয়া যায় না। এইরূপ শক্তির অকার্যকর রূপান্তরকে **শক্তির বিলোপ** বলে। বিশ্বে সমস্ত শক্তির পরিমাণ নির্দিষ্ট সুতরাং বিশ্বে মানুষের কাজে লাগানোর শক্তির পরিমাণ ক্রমশঃই কমিতেছে। হয়ত এমনও সময় আসিতে পারে যখন কাজে লাগাইবার কোন শক্তিই পাওয়া যাইবে

না। প্রকৃতই শক্তির প্রত্যেক রূপান্তরে শক্তির খানিকটা তাপ হইয়া নষ্ট হইয়া যায়। তাহাতে কোন কাজ হয় না।

৯৩। **সৌর শক্তিই পার্থিব সকল শক্তিরই মূল :** পৃথিবীতে কয়লা, কাঠ, তৈল, উচ্চে অবস্থিত জল প্রভৃতি শক্তির প্রধান আধার কিন্তু এই সকল দ্রব্য হইতে উদ্ভূত শক্তি সমস্তই পরোক্ষভাবে সৌর শক্তি হইতে আসে। সূর্যের তাপের ও আলোর সাহায্যে গাছপালা অঙ্গারাম্ল বিশ্লেষণ করিয়া অঙ্গার আত্মসাৎ করে। এইরূপে সৌর শক্তি গাছপালার রাসায়নিক শক্তিতে পরিণত হয়। গাছপালা মাটির নীচে ভীষণ চাপে কয়লায় পরিণত হয়। এই কাঠ ও কয়লা জ্বালাইয়া আমরা প্রভূত তাপ শক্তি পাই। তাপে জলকে বাষ্পে পরিণত করি। বাষ্পের চাপে এঞ্জিন, কল-কারখানা চালাই, বাষ্পের চাপে Dynamo চালাইয়া তড়িৎ উৎপন্ন হয়। এই তড়িৎ দ্বারা কল কারখানা চালাই। সূর্যের তাপে জল বাষ্পীভূত হইয়া উপরে উঠিয়া যায়। জলে সৌর শক্তি থাকে। ঊর্ধ্বে অবস্থিত মেঘে স্থৈতিক শক্তি থাকে। মেঘ হইতে বৃষ্টি হয়। বৃষ্টি নীচে পড়িবার সময়ে গতীয় শক্তি প্রাপ্ত হয়। এই গতীয় শক্তি হইতে জলশক্তি পাওয়া যায়। আবার সূর্য প্রত্যক্ষভাবে আমাদের প্রভূত আলো ও তাপ দেয়।

অঙ্ক : A body of mass 50 gms is allowed to fall freely under gravity. What is the force acting upon it? Calculate the momemtum and kinetic energy it possesses after 5 seconds. (C. U. 1937).

(*a*) বল $= mf =$ ৫০ × ৯৮১ = ৪৯০৫০ ডাইন

(*b*) ভরবেগ $= m \times v$। $v = gt =$ ৯৮১ × ৫ = ৪৯০৫ সেঃ মিঃ-সেকেণ্ড

∴ $m \times v =$ ৫০ × ৪৯০৫ = ২৪৫২৫০ সেঃ মিঃ-গ্রাম-সেকেণ্ড

(*c*) গতীয় শক্তি $= \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2}$ × ৫০ × (৪৯০৫)² = ৬০০৩ × ১০⁸ আর্গ.

প্রশ্ন

1. Define energy and distinguish between potential and kinetic energies. (C. U. 1932, '36, '45).

2. Distinguish between the potential and kinetic energies of an oscillating pendulum. (C. U. 1943).

3. A body is falling freely under gravity; show that the total energy is always constant. (C. U. 1932, '36).

4. State ths principle of conservation of energy and illustrate it with examples. (C. U. 1923, '25).

5. Define work, force and pressure. (C. U. 1941).

6. What is the work done when a weight of 500 Kilograms falls through a height of 50 metres and is then stopped?

$g = 981$ c m./seconds^2. (D. B. 1933).

Ans. 22725 ergs.

7. Distinguish between pound, poundal and pcund weight. (C. U. 1941).

8. Define work and energy. Give some examples of transformations of energy. (C. U. 1916, '19, '23. Pat. 1947, Dac. U. '33).

9. A train is going up-hill with a constant velocity. What is the source from which the energy of the train is supplied? Describe the various transformations of energy that go in this case. (C. U. 1918).

দোলক (Pendulum)

৯৪। **পর্যাবৃত্ত গতি** (Periodic Motion): কোন গতিশীল দ্রব্য প্রত্যেক নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে বারংবার একই অবস্থানের মধ্য দিয়া যাইলে গতিকে পর্যাবৃত্ত গতি বলে। ঘড়ির কাঁটার গতি, সূর্যের চারিধারে গ্রহের গতি পর্যাবৃত্ত গতি। ইহাদের নির্দিষ্ট সময়ের পর একই জায়গায় দেখা যায়।

৯৫। **সরল সমঞ্জস গতি** (Simple Harmonic Motion): কোন বলের ক্রিয়ায় গতিশীল দ্রব্যের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য থাকিলে উহার গতিকে **সরল সমঞ্জস গতি** বলে। যথা:—(ক) গতি পর্যাবৃত্ত হইবে। (খ) দ্রব্যটির গতি সরল রেখাক্রমে হইবে যাহাতে ত্বরণ সর্বদাই একটি নির্দিষ্ট মধ্যক অবস্থিতির (mean position) অভিমুখে হয়। বল অপসৃত হইলে মধ্যক অবস্থিতিতে বিন্দুটি

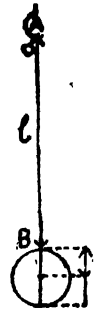
স্থির থাকে। (গ) বলের তথা ত্বরণের পরিমাণ মধ্যক অবস্থিতি হইতে দ্রব্যের দূরত্বের সমানুপাতিক হইবে। এইরূপ গতি দোলকের গতি।

৯৬। **সরল দোলক** (Simple Pendulum): কোন ভারী কণিকা একখণ্ড ওজনশূন্য অবিস্তার্য (inextensible) সম্পূর্ণ নমনীয় (flexible) সূত্র দিয়া কোন স্থির বিন্দু হইতে ঝুলাইলে যদি কণিকাটি বিন্দুর এদিক-ওদিক বিনা ঘর্ষণে দোলে তবে কণিকাটিকে আদর্শ **দোলক** বলে। কিন্তু উপরোক্ত গুণসম্পন্ন সূত্র পাওয়া যায় না বা বিনা ঘর্ষণে কোন পদার্থ ঘোরে না। কাযতঃ একটি সীসা বা কোন ধাতুর ক্ষুদ্র গোলক অতি সূক্ষ্ম সূত্র দ্বারা ঝুলাইলে সরল দোলক পাওয়া যায়।

যৌগিক দোলক (Compound Pendulum): যদি কোন বিলম্বিত ভারী পদার্থ কোন স্থির বিন্দুর বা কোন স্থির অক্ষের এদিক-ওদিক বিনা বাধায় দুলিতে পারে তবে তাহাকে **যৌগিক দোলক** বলে। ঘড়ির দোলকে একটি স্থির ধাতব দণ্ডের নিম্নপ্রান্তে একটি ভারী ধাতব পদার্থ ঝুলান থাকে।

৯৭। **সংজ্ঞা**: সূতার শেষে বিলম্বিত ধাতব গোলককে **পিণ্ড** (Bob) বলে। বিলম্ব বিন্দু O হইতে পিণ্ডের ভারকেন্দ্র পর্যন্ত দূরত্বকে দোলকের **কার্যকরী দৈর্ঘ্য** (effective length) বলে। যদি সূতার দৈর্ঘ্য $= l$ ও পিণ্ডের ব্যাসার্ধ $= r$ হয় তবে কার্যকরী দৈর্ঘ্য $L = l + r$ হইবে। দোলকের সম্পূর্ণ এদিক-ওদিক গতিকে **দোলন** (oscillation) বলে। দোলনের অর্ধেক গতিকে **স্পন্দন** (vibration) বলে। পিণ্ড গতিপথের যে কোন বিন্দু হইতে যে কোন দিকে যাত্রা করিয়া পুনরায় সেই দিকে সেই বিন্দুতে সরিয়া আসিলে পিণ্ড **একটি সম্পূর্ণ দোলন** সম্পাদন করে; পিণ্ড B হইতে Cতে যাইলে এবং C হইতে পুনরায় Bতে আসিলে পিণ্ড একটি সম্পূর্ণ দোলন সম্পন্ন করিল।

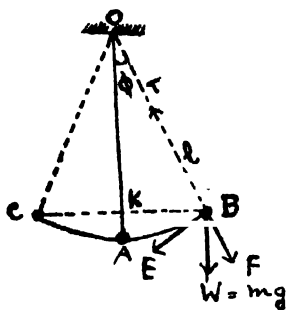
২৮নং চিত্র

B হইতে Cতে কিংবা C হইতে Bতে গতিকে স্পন্দন বলে। পিণ্ডের সাম্য অবস্থিতি A হইতে দুই দিকে চরম দূরত্বকে **বিস্তার** (amplitude)

বলে। বিস্তার রৈখিক দূরত্ব AB বা AC কিংবা কৌণিক দূরত্ব ϕ দিয়া মাপা হয়। একটি সম্পূর্ণ দোলন সম্পন্ন করিতে যে সময় লাগে তাহাকে **দোলন কাল** (Period) বলে। এক সেকেণ্ডে সম্পূর্ণ দোলনের সংখ্যাকে **আবৃত্তি** (Frequency) বলে। যদি দোলনকাল = T, আবৃত্তি = n হয় তবে

$$n.T = 1 \quad \text{or} \quad n = \frac{1}{T} \cdots (৪২)$$

দশা (Phase) দোলনশীল দ্রব্যের যে কোন মুহূর্তে গতির অবস্থা অর্থাৎ দ্রব্যের সেই মুহূর্তে গতিপথে কোথায় অবস্থিতি ও গতির দিক বলিয়া দেয়।

৯৮। **সরল দোলকের গতি ঃ** মনে কর m ভর বিশিষ্ট পিণ্ড O বিন্দু হইতে OA সূতা দ্বারা ঝুলান হইয়াছে এবং দোলকের দৈর্ঘ্য = l.

স্থির অবস্থায় (A) পিণ্ড বিলম্ব-বিন্দু (point of suspension) হইতে লম্ব ভাবে ঝোলে এবং পিণ্ডের ওজন mg = সূতার টান (tension) T. মনে কর পিণ্ডকে স্থির অবস্থান OA হইতে ϕ ক্ষুদ্র কৌণিক দূরত্বে OB অবস্থানে লইয়া যাওয়া হইল। এই অবস্থানে পিণ্ডের ওজন mgকে দুইটি সমকৌণিক উপাংশ বলে (component force) বিশ্লেষণ করা যায়; যথা একটি $mg \cos\phi$ BF অভিমুখে ক্রিয়া করে, অপরটি $mg \sin\phi$ BFএর উপর অঙ্কিত লম্ব BE অভিমুখে ক্রিয়া করে। উপাংশ বল $mg \cos\phi$ বিপরীত ও সমান বল সূতার টান T দ্বারা প্রশমিত হয়, সুতরাং উপাংশ $mg \sin\phi$ একমাত্র বল যাহা B বিন্দুতে স্পর্শক BE অভিমুখে ক্রিয়া করিয়া পিণ্ডকে স্থির অবস্থান OA এর দিকে টানিয়া আনে। গতি পথে এই বলের ত্বরণ হবে $g \sin\phi$ ($\because$ ত্বরণ = বল ÷ ভর = $mg \sin\phi \div m$)।

২৯নং চিত্র

গতির জাড্যের জন্য পিণ্ডটি Aতে থামে না, উহা C অভিমুখে চলিতে থাকে। A হইতে C পর্যন্ত ত্বরণ গতির বিপরীত দিকে কাজ করে বলিয়া Cতে পিণ্ডের গতি বন্ধ হইয়া যায়, উহার গতির অভিমুখ বদলাইয়া যায়, অতএব দেখা

যাইতেছে ত্বরণের অভিমুখ সব সময়েই স্থির অবস্থানের অভিমুখে হয়। যদি বায়ুর বাধা ও Oতে ঘর্ষণ না থাকিত তবে B ও Cএর মধ্যে দোলক অনন্তকাল দুলিত।

যদি ϕ খুব কম হয় তবে. $\text{Sin } \phi = \angle\phi = \dfrac{\text{AB চাপ}}{\text{ব্যাসার্ধ}} = \dfrac{\text{AB চাপ}}{\text{OA}}$ $= \dfrac{\text{AB সরণ}}{\text{দোলকের দৈর্ঘ্য}}$ $\therefore$ পিণ্ডের উপর কার্যকরী বল $F = mg \sin\phi = mg\,\phi = mg \times \dfrac{\text{সরণ}}{l}$ $\therefore$ ত্বরণ $=$ বল $\div$ ভর $= mg \times \dfrac{\text{সরণ}}{l} \div m = \dfrac{g}{l} \times$ সরণ

কিন্তু একই স্থানে g ও l ধ্রুবক হয় $\therefore$ ও Cতে স্পর্শক অভিমুখে ত্বরণ মাধ্যম অবস্থান হইতে সরণের সমানুপাতিক হয় এবং গতিপথে ত্বরণের অভিমুখ সব সময়েই মাধ্যম অবস্থানের দিকে চালিত হয়

$\therefore$ **সরল দোলকের দোলন সরল সমঞ্জস দোলন** (S. H. M.)

পিণ্ডের বেগ: মনে কর সর্বনিম্ন অবস্থান Aতে পিণ্ডের বেগ $= v$. B হইতে OAর উপর লম্ব BK টান। Bতে পিণ্ডের স্থৈতিক শক্তি $=$ পিণ্ডকে A হইতে Bতে লইয়া যাইতে সম্পন্ন কার্য $= mg.$ AK। B হইতে Aতে আসিলে পিণ্ড এই স্থৈতিক শক্তি হারায় এবং ইহা সমপরিমাণ গতীয় শক্তি লাভ করে।

$\therefore \; mg.\text{AK} = \frac{1}{2}mv^2$ or $g\,(\text{OA} - \text{OK}) = \frac{1}{2}v^2$ বা $2\,g\,(l - l\cos\phi) = v^2$

বা $v = \sqrt{2gl\,(1 - \cos\phi)} = \sqrt{2gl \times 2\sin^2\frac{\phi}{2}} = 2\sqrt{gl} \times \sin\frac{\phi}{2}$.

৯৯। **দোলন কাল** T : গণিতের দ্বারা প্রমাণ করা যায় যে

$$\frac{\text{ত্বরণ}}{\text{সরণ}} = \text{কৌণিক বেগ}^2 = \left(\frac{2\pi}{\text{T}}\right)^2$$

$$\therefore \; \text{T}^2 = 4\pi^2 \times \frac{\text{সরণ}}{\text{ত্বরণ}} = 4\pi^2\frac{l}{g} \quad \therefore \; \text{T} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \cdots (৪.৩)$$

এখানে মনে রাখিবে ϕ ৪° ডিগ্রীর বেশী হয় না।

এই সমীকরণ হইতে আমরা দোলকের নিম্নলিখিত চারিটি নিয়ম পাই।

১০০। **দোলকের সূত্র বা নিয়ম** (Laws of a Pendulum): দোলকের গতি চারিটি নিয়মের দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।

(ক) **সমকাল নিয়ম** (Law of Isochronism) : মাধ্যম অবস্থান হইতে ৪° ডিগ্রি বিস্তারের মধ্যে যে কোন বিস্তারে (amplitude) সরল দোলকের দোলনকাল সমান হইবে। অর্থাৎ দোলনকাল বিস্তার-নিরপেক্ষ হইবে। বড় ঘড়ির (clock) কাঁটার সমগতি এই সূত্রের উপর নির্ভর করে। ১৫৮২ খৃষ্টাব্দে বিশ বৎসর বয়সের সময়ে গ্যালিলিও পিসার গির্জ্জায় চেন দ্বারা বিলম্বিত একটি আলোর দোলন দেখিয়া এই নিয়ম আবিষ্কার করেন। তখন ঘড়ি ছিল না। তিনি নিজের নাড়ীর স্পন্দন গুণিয়া আলোর প্রত্যেক দোলন কাল নির্ণয় করেন। ১৬৫৮ খৃষ্টাব্দে Huygen প্রথম ঘড়িতে দোলকের ব্যবহার করেন।

(খ) **দৈর্ঘ্যের নিয়ম** (Law of Length) : সরল দোলকের দোলনকাল দোলকের দৈর্ঘ্যের বর্গমূলের সমানুপাতিক হইবে। $T \propto \sqrt{l}$; যদি দৈর্ঘ্য ৪, ৯ বা ১৬ গুণ বাড়ান যায় তবে T ২, ৩ বা ৪ গুণ বাড়িবে। উষ্ণতার হ্রাস-বৃদ্ধিতে lএর তথা Tএর হ্রাস-বৃদ্ধি হয়।

(গ) **ভরের নিয়ম** (Law of Mass) : সরল দোলকের দোলনকাল পিণ্ডের ভর বা পদার্থের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না। যদি দোলকের দৈর্ঘ্য একই থাকে তবে পিণ্ড কাঠের বা লোহার বা পিতলের হউক দোলনের সময় একই হইবে।

(ঘ) **ত্বরণের নিয়ম** (Law of 'g') : দোলকের দোলনকাল অভিকর্ষজাত ত্বরণের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক হইবে অর্থাৎ $T \propto \sqrt{\frac{1}{g}}$. বিভিন্ন স্থানে স্থানে gএর পরিবর্তন হয় কাজেই Tএর পরিবর্তন হইবে। দোলককে যদি বেশী gএর স্থানে লওয়া হয় তবে দোলনকাল কম হইবে অর্থাৎ পিণ্ড বেশী তাড়াতাড়ি দুলিবে।

$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$—এই সূত্র হইতে সব নিয়মগুলি পাওয়া যায় যথা : যদি l ও g ধ্রুবক হয় তবে T ধ্রুবক হইবে—(ক) ও (গ) নিয়ম। যদি g ধ্রুবক হয় তবে $T \propto \sqrt{l}$—((খ) নিয়ম। যদি l ধ্রুবক হয় তবে $T \propto \sqrt{\frac{1}{g}}$ —(ঘ) নিয়ম)

১০১। **নিয়মগুলির পরীক্ষামূলক প্রমাণ (Experimental Verification) :—**

প্রথম নিয়ম : একটি ছোট ধাতব পিণ্ডকে সূক্ষ্ম সূতা দিয়া একটি লম্ব দণ্ডের একটি হুক হইতে ঝুলাইয়া দাও। এইরূপ একটি সরল দোলককে দোলাইয়া দাও। Stop-ঘড়ির সাহায্যে ২০ বার দোলনের মোট সময় লও। ঐ সময়কে ২০ দিয়া ভাগ করিলে দোলন-কাল T পাইবে। এইরূপে বিভিন্ন বিস্তারে দোলাইয়া বিভিন্ন সংখ্যক দোলনের সময় লইয়া একটি দোলন-কাল বাহির কর। দেখিবে বিস্তারের পরিমাণ ৪° ডিগ্রির বেশী না হইলে দোলন কাল একই থাকিবে।

দ্বিতীয় নিয়ম : সরল দোলকের কার্যকরী (effective) দৈর্ঘ্য = বিলম্ব বিন্দু হইতে পিণ্ডের ভারকেন্দ্র পর্যন্ত দূরত্ব = সূতার দৈর্ঘ্য + পিণ্ডের ব্যাসার্ধ। সূতার দৈর্ঘ্য মাপ, slide-callipers দিয়া পিণ্ডের ব্যাস মাপ, ব্যাসের অর্ধেক ব্যাসার্ধ। সূতার দৈর্ঘ্যের সঙ্গে ব্যাসার্ধ যোগ কর। ১নং পরীক্ষা অনুসারে দোলন-কাল নির্ণয় কর। কয়েকবার সূতার দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করিয়া প্রত্যেক বার ব্যাসার্ধ যোগ করিয়া দোলকের কার্যকরী দৈর্ঘ্য বাহির কর। প্রত্যেক বার দোলনের সময় বাহির কর। দোলন-কালকে দৈর্ঘ্যের বর্গমূল দিয়া ভাগ করিলে ভাগফল ধ্রুবক হইবে অর্থাৎ $T \propto \sqrt{l}$। ছক কাগজে l কে ভুজ (abscissa) ও Tকে কোটি (ordinate) ধরিলে ছকটি অধিবৃত্ত (parabola) হইবে। T^2কে কোটি ধরিলে ছকটি সরল রেখা হইবে। এই ছক হইতে যে কোন দৈর্ঘ্যের আনুসঙ্গিক T পাওয়া যায়। ঘড়ি যদি খুব দ্রুত (fast) চলে তবে বুঝিতে হইবে দোলন-কাল কম। তখন ঘড়ির লেন্স আকৃতি পিণ্ডের নীচের স্ক্রু ঘুরাইয়া উহাকে নামাইতে হয়। ইহাতে দোলকের দৈর্ঘ্য বাড়িয়া যায়। ঘড়ি অতি ধীরে (too slow) চলিলে স্ক্রু উপরে উঠাইতে হয়।

তৃতীয় নিয়ম : বিভিন্ন পদার্থে প্রস্তুত ও বিভিন্ন আকৃতির পিণ্ড লইয়া ১নং প্রণালী অনুসারে দোলন-কাল বাহির কর। দোলকের দৈর্ঘ্য প্রত্যেক বার একই রাখিবে। দেখিবে প্রত্যেক বার T এক থাকিবে।

চতুর্থ নিয়ম : একই দৈর্ঘ্যের দোলক লইয়া পৃথিবীর পৃষ্ঠের বিভিন্ন

স্থানে এবং বিভিন্ন উচ্চতায় T বাহির কর। দেখিবে যে T ও $\sqrt{g}$ এর গুণফল একই হইবে। একই স্থানে বিভিন্ন পদার্থ লইয়া পরীক্ষা করিলে g একই হইবে।

১০২। দোলক দ্বারা 'g' নির্ণয়ঃ (ক) **gএর মান নির্ণয়—** দোলকের দ্বারা নির্ভুল ও সহজভাবে 'g' নির্ণয় করা যায়ঃ—

$$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \text{ or } T^2=4\pi^2\frac{l}{g} \text{ or } g=4\pi^2\frac{l}{T^2}$$

দ্বিতীয় নিয়মের পরীক্ষা অনুসারে সূতার একটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্য লইয়া T বাহির কর। সূত্র হইতে g বাহির কর। দৈর্ঘ্য কম-বেশী করিয়া প্রত্যেক বার T ও g বাহির কর। gএর মানের গড় বাহির কর।

(খ) **ভূপৃষ্ঠে একই স্থানে বিভিন্ন পদার্থের gএর মান সমান:** একই স্থানে বিভিন্ন পদার্থের পিণ্ড লইয়া দোলকের দৈর্ঘ্য একই রাখিয়া পরীক্ষা করিলে প্রত্যেক বার আমরা T একই পাইব। অতএব 'g'এর মান একই হইবে। [এই প্রশ্নের উত্তরে দ্বিতীয় নিয়মের বিশদ বিবরণ দিবেন।]

(গ) **ভূপৃষ্ঠে Tএর মানের তারতম্য:** 'g'এর বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতে T পরিবর্তিত হয় অর্থাৎ g বাড়িলে T কমে, g কমিলে T বাড়ে। নিরক্ষরেখা হইতে মেরু অভিমুখে gএর মান বাড়িতে থাকে কারণ $g=G.\frac{Mm}{R^2}$ এবং নিরক্ষরেখায় R সর্বাপেক্ষা বেশী, মেরুদ্বয়ে কম কাজেই নিরক্ষরেখা হইতে মেরুদ্বয়ে T কমে অর্থাৎ ঘড়ি তাড়াতাড়ি (fast) চলে। লণ্ডনের নির্ভুল ঘড়ি নিরক্ষঅঞ্চলে প্রতিদিন ২·৩ মিঃ কম এবং মেরুদ্বয়ে ১·৫ মিঃ বেশী চলিবে। ভূপৃষ্ঠ হইতে উর্ধে বা ভূগর্ভে যাইলে 'g' ($g=\frac{4}{3}\pi G(R-h)D$) কমে, T বাড়ে অর্থাৎ ঘড়ি আস্তে আস্তে (slow) চলে।

১০৩। সরল দোলকের অসুবিধা: (ক) ওজন শূন্য সূতা পাওয়া যায় না। (খ) নিয়মগুলি অল্প বিস্তারের জন্য নির্ভুল হয়। (গ) বায়ুর বাধার জন্য ও বায়ুর উর্ধ চাপের জন্য সংশোধন করা দরকার।

১০৪। **সেকেণ্ড দোলক** (Seconds Pendulum): যে দোলকের দোলন কাল (T) দুই সেকেণ্ড তাহাকে **সেকেণ্ড দোলক** বলে। ইহার সূত্র হইবে $2=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ বা $1=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ বা $1=\pi^2\frac{l}{g}$ বা $l=\frac{g}{\pi^2}$

'g'কে 981 *c.m.* প্রতি সেকেণ্ড² ধরিলে

সেকেণ্ড দোলকের $l=\frac{981}{\pi^2}=\frac{981}{(\frac{22}{7})^2}=\frac{981\times 49}{22\times 22}=99.39$ c.m. $=39.12$ in.

(C. U. 1912).)

অঙ্ক: A seconds pendulum loses 5 seconds a day. By how much must it be shortened to keep correct time? (C. U. 1912).

মনে কর দোলকের দৈর্ঘ্য $= l$ সেঃ মিঃ এবং দৈর্ঘ্যের হ্রাস $= x$ সেঃ. মিঃ.

১ দিন = ৮৬৪০০ সেঃ। দোলক ৫ সেঃ প্রতিদিন কম চলে, ইহা ১ দিনে বা ৮৬৪০০ সেকেণ্ডে (৮৬৪০০ − ৫) = ৮৬৩৯৫ বার শব্দ করে। অতএব ইহার দোলকের সময় $T=\frac{৮৬৪০০}{৮৬৩৯৫}=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, বা $\left(\frac{৮৬৪০০}{৮৬৩৯৫}\right)^২=\pi\frac{l^২}{g}$ ...(ক)

যখন দোলককে ঠিক করা হবে তখন

$$১=\pi\sqrt{\frac{l-x}{g}} \text{ বা } ১=\pi^২\times\frac{l-x}{g} \text{......(খ)}$$

(ক) হইতে (খ)কে বিয়োগ করিয়া

$$\pi^২\times\frac{x}{g}=\left(\frac{৮৬৪০০}{৮৬৩৯৫}\right)^২-১=\left(১+\frac{৫}{৮৬৩৯৫}\right)^২-১$$

$$=\left(১+\frac{১০}{৮৬৩৯৫}+\cdots\right)-১=\frac{১০}{৮৬৩৯৫}$$

অতএব $x=\frac{১০}{৮৬৯৩৫}\times\frac{g}{\pi^২}=\frac{১০}{৮৬৩৯৫}\times\frac{৯৮১}{(৩\cdot১৪১৬)^২}=০\cdot০১১৫$ cm.

প্রশ্ন

1. Explain clearly what is meant by Simple Harmonic Motion. Give two examples illustrating your answer. Explain the terms period, phase, amplitude by reference to the motion of a pendulum.

(C. U. 1935)

2. What is a simple pendulum? State the laws of oscillation of a simple pendulum and state how would you verify them experimentally. What is meant by effective length?

(C. U. 1913, '15, '17, '18, '19, '21, '24, '28, '32).

3. Prove that a simple pendulum when disturbed executes a Simple Harmonic Motion. (C. U. 1935).

4. How is the period of a swing of a pendulum related to the weight of a bob, its length and the amplitude of the swing? Hence state the laws of a simple pendulum and indicate how you would verify them experimentally. (C. U. 1921, '28, '32, '40, '43, '47)

5. What is the effect of height above or depth below the surface of the earth on the periodic time of a pendulum? (C. U. 1921, '24).

6. Will the periodic time of a pendulum vary, if it is taken from the equator to the north pole? Explain your answer

(C. U. 1943).

জড়ের গুণ

১০৫। **পদার্থের গঠন** (Constitution of matter): প্রত্যেক পদার্থ অতি সূক্ষ্ম কণা দিয়া গঠিত। ইহাদিগকে **অণু** (molecule) বলে। অণুর বৈশিষ্ট্য হইল যে যে ইহারা পদার্থের ধর্ম বজায় রাখে এবং ইহারা স্বতন্ত্রভাবে থাকিতে পারে। অণুগুলি এত ক্ষুদ্র যে এক ফোঁটা জলে প্রায় $(১০)^{১৮}$ অণু আছে। অণু আবার কতকগুলি **পরমাণু** (atom) নামক সূক্ষতর কণার সমবায়ে গঠিত। পরমাণুর বৈশিষ্ট্য হইল যে ইহাদের ধর্ম পদার্থ বা অণুর ধর্ম হইতে বিভিন্ন এবং ইহারা স্বতন্ত্র থাকিতে পারে না। রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় (reaction) ইহারা অংশ গ্রহণ করে। জলের ও জলের অণুর ধর্ম এক কিন্তু জলের ধর্ম ও জলের পরমাণু অক্সিজেন ও হাইড্রোজেনের ধর্ম বিভিন্ন। পরমাণু আবার ঋণাত্মক তড়িৎ বিশিষ্ট **ইলেকট্রোন** ও ধনাত্মক তড়িৎ বিশিষ্ট **নিউক্লিয়াস** নামক সূক্ষ্মতম কণা দিয়া গঠিত। একটি ইলেকট্রোন একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রায় ২০০০ ভাগের এক ভাগ।

১০৬। **আন্তরাণবিক ফাঁক**:—অণুগুলি পরস্পর গায়ে গায়ে লাগিয়া নাই, অণুগুলির মাঝে অতি সূক্ষ্ম ফাঁক আছে। ফাঁকগুলির হ্রাস-বৃদ্ধি হইলে পদার্থের

আয়তন কমে বা বাড়ে। চাপ বা তাপ-প্রয়োগে পদার্থের আয়তনের হ্রাস-বৃদ্ধি, পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা, জলে চিনির দ্রবণ—ফাঁকগুলির অস্তিত্বের প্রকৃষ্ট প্রমাণ। এই ফাঁকগুলিকে **আন্তরাণবিক ফাঁক** (Intermolecular Spaces) বলে। ফাঁকগুলি শূন্য নয়, ওজনশূন্য ঈথার নামক পদার্থে পূর্ণ থাকে।

১০৭। **অণুর বৈশিষ্ট্য :** অণুর দুইটি বৈশিষ্ট্য আছে : (ক) **আণবিক আকর্ষণ বল** (Intermolecular force of attraction) : অণুগুলি নির্দিষ্ট গণ্ডীর মধ্যে থাকিলে পরস্পর পরস্পরকে আকর্ষণ করে। ইহাকে **আণবিক আকর্ষণ বল** বলে। মহাকর্ষসূত্রানুসারে এই বল $\propto \frac{m.m_1}{r^2}$। অতএব অণুর মধ্যে দূরত্ব r বাড়িলে বা কমিলে এই বল কমে বা বাড়ে। নির্দিষ্ট গণ্ডীর বাহিরে গেলে এই বল অন্তর্হিত হয়। একই প্রকৃতির অণুর মধ্যস্থিত আকর্ষণের নাম **সংসক্তি** (Cohesion)। বিভিন্ন প্রকৃতির অণুর মধ্যস্থিত আকর্ষণের নাম **আসঞ্জন** (Adhesion)। খড়িমাটিতে অণুগুলি সংসক্তি বল দ্বারা আকৃষ্ট হয় কিন্তু বোর্ডের গায়ে খড়িমাটির কণাগুলি আসঞ্জন বল দ্বারা আকৃষ্ট হয়। এই আসঞ্জনবলের জন্য গ্লাসের গায়ে জল, চূণ ও সুরকির গায়ে ইট, শিরিষের গায়ে কাঠ লাগিয়া থাকে ; কোহল ও জল মিশিয়া যায়। অণুর মধ্যে পরমাণুগুলি **রাসায়নিক আসক্তি** (chemical affinity) দ্বারা পরস্পর পরস্পর আকৃষ্ট হয়। পরমাণুর মধ্যে ইলেক্‌ট্রোন ও নিউক্লিয়াস তড়িতাকর্ষণ দ্বারা আকৃষ্ট হয়।

(খ) **আণবিক গতি** (Molecular motion) : অণুগুলি স্থির নহে ; ইহারা সর্বদাই একটি মাধ্যম অবস্থানের (mean position) এদিক-ওদিক (to and fro) দ্রুতগতিতে চলা ফেরা করে। এই গতির জন্য অণুগুলি পরস্পর হইতে দূরে যাইতে চেষ্টা করে এবং পদার্থের আয়তন বাড়িতে চেষ্টা পায়। আবার আকর্ষণ বল অণুগুলিকে পরস্পর পরস্পরের দিকে টানে এবং পদার্থের আয়তন কমিতে চেষ্টা পায়। গতি না থাকিলে অণুগুলি পরস্পর গায়ে গায়ে লাগিয়া যাইত। পদার্থের আয়তন বাড়াইতে হইলে আকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কাজ করিতে হয় ; পদার্থের আয়তন কমাইতে হইলে অণুগুলির দূরে যাইবার প্রচেষ্টার বিরুদ্ধে কাজ করিতে হয়। অতএব দুই ক্ষেত্রেই বাহ্যিক বলপ্রয়োগের দরকার হয়। আবার

গতির জন্য অণুর গতীয় শক্তি থাকে এবং বিশেষ অবস্থানের জন্য অণুর স্থৈতিক শক্তি থাকে।

১০৮। **পদার্থের তিন অবস্থা :** একই পদার্থ **কঠিন, তরল ও বায়বীয়** বা গ্যাসীয় অবস্থায় থাকিতে পারে। প্রত্যেক পদার্থের আণবিক গঠন প্রায় একই প্রকার কিন্তু আন্তরাণবিক বলের আপেক্ষিক পরিমাণের উপর পদার্থের তিন অবস্থার পার্থক্য দৃষ্ট হয়।

কঠিন পদার্থের অণুগুলি কাছাকাছি থাকে সেইজন্য কঠিন পদার্থে আণবিক আকর্ষণ খুব বেশী হয়। অণুগুলি খুব জোরে পরস্পর আকর্ষণ করে। এইজন্য কঠিন পদার্থের নির্দিষ্ট আয়তন ও আকার থাকে। ইহা আকার ও আয়তন পরিবর্তনে বাধা দেয়। আকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কঠিনের এক অংশ হইতে অন্য অংশ পৃথক করিতে প্রভূত বল প্রয়োগের দরকার হয়। এক সেণ্টিমিটার ব্যাসের ইস্পাত দণ্ডকে ভাঙ্গিতে নয় টন বল দরকার হয়। কঠিন পদার্থ রাখিতে কোন পাত্রের দরকার হয় না।

তরল পদার্থে অণুগুলির ব্যবধান কঠিনের চেয়ে বেশী, আণবিক আকর্ষণ কম। সেইজন্য তরল পদার্থের নির্দিষ্ট আকার নাই, ইহা রাখিতে পাত্রের দরকার হয়, ইহা পাত্রের আকার ধারণ করে।

গ্যাসের অণুগুলির ব্যবধান এত বেশী যে গ্যাসে আণবিক আকর্ষণ খুবই কম। অণুগুলি স্বাধীনভাবে যে কোন দিকে এলোমেলোভাবে ছুটিয়া যায়। (তরল ও কঠিন পদার্থের অণুগুলি মাধ্যম অবস্থানের চারিদিকে ঘোরে)।

গ্যাসের নির্দিষ্ট আয়তন বা আকার নাই। তরল ও গ্যাস পাত্রে ধরিয়া না রাখিলে প্রবাহিত হয় বলিয়া ইহাদিগকে একত্রে **প্রবহমান দ্রব্য (Fluid)** বলে। তাপের ও চাপের হ্রাস-বৃদ্ধিতে পদার্থের অবস্থান্তর ঘটে। বরফকে গরম করিলে জল হয়, জলকে গরম করিলে বাষ্প হয়। বাষ্পকে শীতল করিলে জল হয়, জলকে শীতল করিলে বরফ হয়।

১০৯। **পদার্থের সাধারণ গুণ (General Properties) :** পদার্থের কঠিন, তরল বা গ্যাসীয় অবস্থার যে কোন অবস্থায় যে গুণ থাকে সেই গুণগুলিকে **সাধারণ গুণ** বলা হয়। যথা :—(ক) **ওজন :**—প্রত্যেক পদার্থেরই ওজন

আছে। (খ) **বিস্তৃতি** (Extension) : প্রত্যেক পদার্থ যে কোন অবস্থায় থাকিবার জন্য নির্দিষ্ট স্থান (space) দখল করিবেই। (গ) **অভেদ্যতা** (Impenetrability) : দুইটী পদার্থ একই সময়ে একই জায়গা দখল করিতে পারে না। জলের মধ্যে কোন জিনিষ ডুবাইলে সমায়তন জল অপসারিত হয়। কলসীতে জল ঢালিলে বাতাস বাহির হইয়া যায়। কাঠে পেরেক বসাইলে আন্তরাণবিক ফাঁক ছোট হয়। বালির মধ্যে জল ঢালিলে বালির দানার ফাঁকে ফাঁকে জল চলিয়া যায়।

(ঘ) **বিভাজ্যতা** (Divisibility) : প্রত্যেক পদার্থকে অতি সূক্ষ্ম অংশে ভাগ করা যায়। খড়িমাটি দিয়া বোর্ডে লিখিবার সময় বোর্ডের উপর খড়িমাটি অসংখ্য কণায় বিভক্ত হয়। একটু নীল রং জলে গুলিলে নীল অসংখ্য কণায় বিভক্ত হইয়া সমস্ত জলকে নীলবর্ণ করে। একটুখানি কস্তুরী অসংখ্য কণায় বিভক্ত হইয়া বহু বৎসর যাবৎ ঘরে গন্ধ ছড়ায়। (ঙ) **জাড্যতা** (Inertia)—কোন পদার্থই বাহ্যিক বল প্রয়োগ ব্যতীত নিজের নিশ্চল অবস্থা বা গতিশীল অবস্থা পরিবর্তন করিতে পারে না।

(চ) **সছিদ্রতা** (Porosity) : প্রত্যেক পদার্থই অতি সূক্ষ্ম ছিদ্র সমন্বিত। এই ছিদ্র ও আন্তরাণবিক ফাঁক এক নহে। এই ছিদ্র অনেক সময় অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দেখা যায় কিন্তু আন্তরাণবিক ফাঁক এত ক্ষুদ্র যে ইহাদিগকে মোটেই দেখা যায় না। কাঠ-কয়লা, ফিল্টার কাগজ, ব্লটীং কাগজের মধ্য দিয়া অপরিষ্কার জল ছাঁকিবার সময় অদ্রাব্য পদার্থগুলি ছিদ্রের মধ্য দিয়া যাইতে পারে না, জল চলিয়া যায়। খড়িমাটী জলে ডুবাইলে ছিদ্রমধ্যস্থিত বাতাস বুদ্‌বুদের আকারে বাহির হইয়া যায়। (ছ) **মহাকর্ষ** : প্রত্যেক পদার্থ পরস্পর পরস্পরকে আকর্ষণ করে। (জ) **সংনম্যতা** (Compressibility) : ছিদ্র থাকার জন্য প্রত্যেক পদার্থ চাপে সঙ্কুচিত হয়। রবার, কর্ক চাপিলে সঙ্কুচিত হয়। গ্যাস খুবই সঙ্কোচনশীল। (ঝ) **স্থিতিস্থাপতা** (ইহার বিষয় নিম্নে বিশদভাবে বলা হইয়াছে।)

১১০। **স্থিতিস্থাপকতা** (Elasticity) : যে গুণের জন্য পদার্থ বাহ্যিক বল প্রয়োগে আকার বা আয়তন পরিবর্তনের চেষ্টাকে বাধা দেয় তাহার নাম

স্থিতিস্থাপকতা। এই গুণের জন্য নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত আকার বা আয়তনের পরিবর্তন ঘটিলেও প্রযুক্ত বল সরাইয়া লইলেই পদার্থ পূর্বেকার আকার বা আয়তনে ফিরিয়া আসে। রবার বা ইস্পাতের স্প্রীং টানিলে বড় হয়, ছাড়িয়া দিলে ইহারা পূর্বেকার আকারে ফিরিয়া আসে। গাড়ীর ও ঘড়ির স্প্রীং ইস্পাত দিয়া তৈয়ার হয়। কর্ককে চাপিয়া বোতলের মুখে লাগান হয়। তুলা, ও নারিকেল ছোবরা স্থিতিস্থাপক বলিয়া বালিশে বা গদিতে দেওয়া হয়। গ্যাস খুব স্থিতিস্থাপক।

টান বা বিকৃতি (Strain): যখন কোন পদার্থের উপর কোন বল বা বলের সমষ্টি ক্রিয়া করিয়া ইহার অংশকে পরস্পর হইতে সরাইয়া দেয় তখন পদার্থের দৈর্ঘ্য, আকার বা আয়তনের পরিবর্তন ঘটে। এই পরিবর্তনকে **টান** বা **বিকৃতি** বলে। প্রতি একক দৈর্ঘ্যে, ঘনফলে বা আকৃতিতে যে পরিবর্তন ঘটে তাহা দিয়া বিকৃতি মাপা হয়। ∴ বিকৃতির মাপ $= \frac{ক - খ}{ক}$, যেখানে ক = পদার্থের প্রারম্ভিক দৈর্ঘ্য, আয়তন বা আকার, খ = পরিবর্তিত দৈর্ঘ্য বা আয়তন বা আকার। ইহা একটি অনুপাত (ratio) মাত্র। ইহা নিছক সংখ্যা দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

পীড়ন (Stress বা Restoring force): যখন কোন পদার্থ বাহ্যিক বল (Deforming force) প্রয়োগ দ্বারা বিকৃত হয় তখন এই বিকৃতিকে প্রতিরোধ করিবার জন্য এবং বল অপসৃত হইলে বিকৃত অংশগুলিকে পূর্বাবস্থায় ফিরাইয়া আনিবার জন্য পদার্থের ভিতরে আপনা হইতেই একটি প্রতিক্রিয়া বলের উদ্ভব হয়। নিউটনের তৃতীয় সূত্রানুসারে প্রতিক্রিয়া বল প্রযুক্ত বলের সমান ও বিপরীত হয়। এই আভ্যন্তরীণ প্রতিক্রিয়া বলকে **পীড়ন** বলে। বাহ্যিক বল সরাইয়া লইলে এই বলের প্রভাবে পদার্থটি পূর্বের আকার ও আয়তনে ফিরিয়া আসে। প্রযুক্ত বল ও পীড়ন পরিমাণে সমান। সুতরাং বল সম (uniform) হইলে প্রতি একক ক্ষেত্রফলে যে বল প্রয়োগ হয় তাহাই পীড়নের মাপ।

$$\therefore \text{পীড়ন} = \frac{\text{মোট প্রযুক্ত বল}}{\text{মোট ক্ষেত্রফল}} \quad ;\cdots(৪৪)$$

পূর্ণস্থিতিস্থাপক (Perfectly elastic): বাহ্যিক বল অপসৃত হইলে যখন কোন পদার্থ ঠিক পূর্বেকার আকার ও আয়তনে ফিরিয়া আসে তখন তাহাকে পূর্ণস্থিতিস্থাপক পদার্থ বলা হয়। বেশী বল প্রয়োগেও যদি কোন পদার্থের আকার বা আয়তনের বিকৃতি না ঘটে তবে তাহাকে বলা হয় একান্ত দৃঢ় (Perfectly rigid)। কোন পদার্থই পূর্ণস্থিতিস্থাপক বা একান্ত দৃঢ় নহে। কাচ অনেকটা দৃঢ় পদার্থ।

স্থিতিস্থাপক গণ্ডী (Elastic Limit): কোন পদার্থই পূর্ণস্থিতিস্থাপক নহে কিন্তু প্রযুক্ত বল একটি নির্দিষ্ট গণ্ডীর মধ্যে থাকিলে অনেক পদার্থ পূর্ণস্থিতিস্থাপকের ন্যায় আচরণ করে অর্থাৎ পূর্বেকার আকার ও আয়তনে ফিরিয়া আসে। এই নির্দিষ্ট গণ্ডীকে বলে **স্থিতিস্থাপক গণ্ডী**। প্রযুক্ত বল বাড়িয়া নির্দিষ্ট গণ্ডী অতিক্রম করিলে পদার্থের স্থায়ী বিকৃতি (permanent set) ঘটে। তখন প্রযুক্ত বল সরাইলেও পদার্থ পূর্বেকার আকারে ফিরিয়া আসে না। রবারকে বেশী টানিলে প্রযুক্ত বল স্থিতিস্থাপক গণ্ডী অতিক্রম করে। উহা ছিঁড়িয়া যায়।

স্থিতিস্থাপক ক্লান্তি (Fatigue): যদি স্থিতিস্থাপক গণ্ডীর মধ্যেও অপেক্ষাকৃত বেশী বল বেশী সময় যাবৎ কোন পদার্থের উপর ক্রিয়া করে তবে প্রযুক্ত বল অপসৃত হইলেও পদার্থ একটু বিশ্রাম করিয়া **ধীরে ধীরে** পূর্বেকার অবস্থায় ফিরিয়া আসে। এই ঘটনাকে **স্থিতিস্থাপক ক্লান্তি** (Fatigue) বলে।

১১১। **বিভিন্ন বিকৃতি**: (ক) **দৈর্ঘ্য বিকৃতি** (Longitudinal or tensile strain): কোন বলের চাপে বা টানে পদার্থের কেবল দৈর্ঘ্যের হ্রাস-বৃদ্ধিকে **দৈর্ঘ্য-বিকৃতি** বলে। অনুরূপ পীড়নকে বলে **দৈর্ঘ্য-পীড়ন**। দৈর্ঘ্য বিকৃতি $=\frac{l}{L}$ যেখানে $l=$ দৈর্ঘ্যের পরিবর্তন, $L=$ মোট দৈর্ঘ্য। এইরূপ দৈর্ঘ্য বিকৃতি কেবল সরু কঠিন পদার্থে সম্ভব যথা সরু তার (১১৬ অনুচ্ছেদ)। পদার্থ দৈর্ঘ্যে কমিলে বা বাড়িলে বলের অভিলম্বে অন্য সব দিকে পদার্থ প্রসারিত হয় বা সংকুচিত হয়। এই দৈর্ঘ্য-বিকৃতি ও পার্শ্ব-বিকৃতি সমানুপাতিক হয়।

(খ) **আয়তন-বিকৃতি** (Volume or Bulk Strain): আকারের কোন বিকৃতি না ঘটিয়া কেবল আয়তনের বিকৃতি ঘটিলে বিকৃতিকে আয়তন **বিকৃতি** বলে। যখন কোন পদার্থের উপর সকল বিন্দুতে সমান বল লম্বভাবে ক্রিয়া করে তখন এইরূপ বিকৃতি ঘটে। অনুরূপ পীড়নকে বলে **আয়তন পীড়ন**।

আয়তন বিকৃতি $=\frac{v}{V}$, যেখানে $v=$ আয়তনের পরিবর্তন, $V=$ মোট আয়তন।

কঠিন ও তরলের আয়তন বিকৃতি কম; গ্যাসের বেলায় সামান্য বল প্রয়োগে আয়তন বিকৃতি বেশী হয়। কঠিন পদার্থকে তরলে ডুবাইয়া তরলের উপর চাপ দিলে কঠিনের এইরূপ বিকৃতি সম্ভব।

(গ) **আকার-বিকৃতি** (Shear Strain): আয়তনের কোন বিকৃতি না ঘটিয়া কেবল আকারের বিকৃতি ঘটিলে বিকৃতিকে **আকার-বিকৃতি** বলে। কেবল কঠিন পদার্থেরই এই বিকৃতি ঘটে। (১১৫ (চ) অনুচ্ছেদ)

১১২। হুকের নিয়ম (Hooke's Law): এই নিয়ম দ্বারা স্থিতিস্থাপকতা মাপা যায়। স্থিতিস্থাপক গণ্ডীর ভিতর পীড়ন বিকৃতির সমানুপাতিক হয় অর্থাৎ পীড়ন $\propto$ বিকৃতি

$\therefore \ \frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}}=$ ধ্রুবক।···(৪৫) ইহা সকল রকম বিকৃতিতে প্রয়োজ্য।

এই ধ্রুবক দিয়া স্থিতিস্থাপকতা মাপা যায় বলিয়া ইহাকে পদার্থের **স্থাপিতাঙ্ক** (Modulus or Co-efficient of elasticity) বলে। ইহা পীড়নের এককে মাপা হয় এবং এক বর্গ সেন্টিমিটারে ডাইন বা এক বর্গ ইঞ্চিতে পাউণ্ড দ্বারা প্রকাশিত হয়। একক বিকৃতি ঘটাইতে যে পীড়নের উদ্ভব হয় তাহাকেও স্থাপিতাঙ্ক বলে। পূর্বে হুকের নিজের ভাষায় নিয়মটি এইরূপ ছিল বিস্তৃতি $\propto$ বল। এই স্থাপিতাঙ্ক পদার্থের প্রকৃতি, তাপ ও পীড়নের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

১১৩। রবার ও ইস্পাতের স্থিতিস্থাপকতা: স্থাপিতাঙ্ক $=\frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}}$।

অতএব নির্দিষ্ট পরিমাণ বিকৃতি উৎপন্ন করিতে যত বেশী পীড়নের উদ্ভব হইবে অর্থাৎ যত বেশী বাহ্যিক বল লাগিবে স্থাপিতাঙ্ক তত বেশী হইবে। আমরা

পরীক্ষা দ্বারা জানিতে পারি যে একই আকার ও দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট রবারের ও ইস্পাতের দণ্ডের একই পরিমাণ বিস্তৃতি ঘটাইতে ইস্পাত দণ্ডের উপর অনেক বেশী বল প্রয়োগ করিতে হয়। অতএব ইস্পাতের স্থাপিতাঙ্ক রবারের চেয়ে অনেক বেশী অর্থাৎ ইস্পাত খুব বেশী স্থিতিস্থাপক, রবার ততটা নয়।

১১৩ (ক) **হুকের নিয়মের সাহায্যে স্প্রীং তুলার অংশাঙ্কন** (Graduation)**:** একটি স্প্রীংতুলা লম্বভাবে ঝুলাও। যখন স্প্রীংয়ের শেষ প্রান্তে কোন ভার থাকিবে না তখন নির্দেশক কাঁটার অবস্থানে দাগ দাও। ইহা তুলার শূন্য 0 দাগ। একটি ২০ পাউণ্ড ওজন কড়ায় ঝুলাও। স্প্রীং নীচের দিকে বিস্তৃত হইবে। কাঁটার নূতন অবস্থানে দাগ দাও। ইহা তুলার ২০ পাঃ ওজনের দাগ। হুকের নিয়ম অনুসারে বিস্তৃতি $\propto$ বল অর্থাৎ সমান বল (ওজন) সমান বিস্তৃতি উৎপন্ন করে। অতএব 0 দাগ হইতে ২০ দাগ পর্যন্ত স্থানকে ২০ সমান অংশে ভাগ করিলে প্রত্যেক দাগ ১ পাঃ ওজন নির্দেশ করিবে। স্কেলটিকে ১, ২, ৩…২০ অংশাঙ্কন কর। বিশ দাগের নীচেও সমান অংশ দাগ কাটিয়া যে কোন ওজনের স্কেল তৈয়ার করা যায়। এখানে মনে রাখিতে হইবে যে, যে ওজনের স্কেল হইবে তাহার সর্বোচ্চ ওজন স্প্রীংএর স্থিতিস্থাপক গণ্ডীর মধ্যে থাকিবে।

১১৪। **বিভিন্ন স্থাপিতাঙ্ক:** বিকৃতি যত রকমের, স্থাপিতাঙ্ক তত রকমের: (ক) **আয়তন-বিকৃতির স্থাপিতাঙ্ক** (Modulus of Vol. Elasticity)**:** মনে কর কোন পদার্থের উপর সর্বত্র এক একক বর্গক্ষেত্রে (sq. cm) p ডাইন বল লম্বভাবে ক্রিয়া করে এবং মনে কর পদার্থের প্রাথমিক আয়তন $= V$, আয়তনের পরিবর্তন বা বিকৃতি $= v$.

$\therefore$ প্রতি একক আয়তনে বিকৃতি $= \frac{v}{V}$.

$\therefore$ (স্থিতিস্থাপক গণ্ডীর মধ্যে) আয়তন-বিকৃতির স্থাপিতাঙ্ক

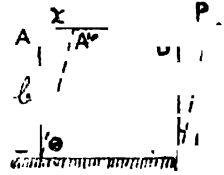
$$= \frac{p}{\frac{v}{V}} = \frac{pV}{v} \text{ ডাইন/সেন্টিমিটার}^2 \text{ বা পাউণ্ড/ইঞ্চি}^2 \cdots (৪৬)$$

(খ) আকারের বিকৃতি ও (গ) দৈর্ঘ্যের বিকৃতি স্থাপিতাঙ্ক—ইহাদের বিষয় ‘কঠিন পদার্থের বিশেষ গুণের’ অনুচ্ছেদে বলা হইয়াছে।

১১৫। **কঠিন পদার্থের বিশেষ গুণ** (Special Properties): কঠিন পদার্থের নিম্নলিখিত বিশেষ গুণগুলি দেখা যায়: (ক) কঠিনের নির্দিষ্ট আয়তন ও আকার আছে। (খ) **কাঠিন্য** (Hardness): ক পদার্থ যদি খ পদার্থের গায়ে আঁচড় কাটিতে পারে তবে ক পদার্থকে খ পদার্থের চেয়ে কঠিন বা শক্ত বলা হয়। হীরা সবচেয়ে শক্ত পদার্থ কারণ ইহা সব কঠিন পদার্থের গায়ে আঁচড় কাটে। সংকর বা খাদ-মেশানো ধাতু (alloy) বিশুদ্ধ ধাতু অপেক্ষা শক্ত হয় সেজন্য গহনা বা মুদ্রা তৈয়ার করিতে বিশুদ্ধ সোণা ও রূপার সঙ্গে তামার খাদ দেওয়া হয়। (গ) **ভঙ্গুরতা** (Brittleness): হাতুরির ঘা দিলে কতক পদার্থ সহজেই ভাঙ্গিয়া যায়। কাচ, বরফ অত্যন্ত ভঙ্গপ্রবণ। সীসা বা তামার এইরূপ গুণ নাই। কাচ, ইস্পাতকে গরম করিয়া হঠাৎ ঠাণ্ডা করিলে খুব শক্ত ও ভঙ্গুর হয়। এই প্রক্রিয়াকে Tempering বলে। ইহাকে আবার গরম করিয়া ধীরে ধীরে শীতল করিলে ইহার ভঙ্গুরতা কমিয়া যায়। এই প্রক্রিয়াকে **কোমলায়ন** (Annealing) বলে। (ঘ) **ঘাতসহনশীলতা** (Malleability): এই গুণের জন্য কতকগুলি কঠিন পদার্থকে ঘা দিয়া খুব পাতলা পাতে পরিণত করা যায়। বিশুদ্ধ সোণা ও সীসা অত্যন্ত ঘাতসহ, তিনলক্ষ সোণার পাত পর পর রাখিলে মাত্র এক ইঞ্চি মোটা হয়। উত্তাপ বাড়াইলে এই গুণ বৃদ্ধি পায় সেইজন্য লোহাকে উত্তপ্ত করিয়া পিটান হয়। (ঙ) **প্রসার্যতা** (Ductility): এই গুণের জন্য কতকগুলি কঠিন পদার্থকে টানিয়া সরু তারে পরিণত করা যায়। প্লাটিনাম এত নমনীয় যে ১৪০টী প্লাটিনাম তার পাশাপাশি রাখিলে একটি পশম সুতার মত মোটা হয়। কাচ, স্ফটিক (quartz) উত্তাপে নরম করিয়া সরু তারে পরিণত করা হয়। (চ) **আকারের স্থিতিস্থাপকতা** (Elasticity of shape or Rigidity):—

(১) কেবল কঠিন পদার্থেরই নির্দিষ্ট আকার থাকে সেইজন্য কঠিন পদার্থেরই আয়তন-বিকৃতি না ঘটিয়া আকারের বিকৃতি ঘটিতে পারে।

মনে কর ABCD একটি আয়তক্ষেত্রিক (rectangular) পদার্থ। ইহার তল BC টেবিলের উপর দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ। মনে কর AD তলের প্রতি একক বর্গক্ষেত্রে p বল স্পর্শকভাবে (tangentially) ক্রিয়া করিয়া AD তলকে A′D′

অবস্থানে লইয়া আসে। তখন ABCD আয়তক্ষেত্র A'BCD' রম্বসে পরিণত হয় কিন্তু ABCDর আয়তন ও A'BCD'র আয়তন সমান কারণ AA' = DD' অর্থাৎ পদার্থের আয়তনের পরিবর্তন না হইয়া আকারের পরিবর্তন হয়। মনে কর ∠ABA' = θ = ∠DCD', AA' = x = DD' এবং AB = b. পীড়ন = প্রযুক্তবল = p। আকার বিকৃতি ϕ কোণ দিয়া মাপা হয়। এই কোণকে **কৃন্তন কোণ** (angle of shear) বলে। ∴ আকার-বিকৃতি = ϕ = $\tan\phi$ (∵ ϕ খুব ক্ষুদ্র) = $\frac{x}{b}$ = $\frac{\text{আপেক্ষিক সরণ (displacement)}}{\text{দুই তলের দূরত্ব}}$ = একক দূরত্বে দুই তলের সরণ অর্থাৎ দুই তল AD ও BC একক দূরত্বে থাকিলে যতটা সরে তাহাই হইল আকার বিকৃতি।

৩০নং চিত্র

$$\therefore \text{ আকার বিকৃতির স্থাপিতাঙ্ক} = \frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}} = \frac{p}{\frac{x}{b}} = \frac{pb}{x} \quad \cdots (৪৭)$$

(স্থিতিস্থাপক গণ্ডীর মধ্যে)

(২) **বিভিন্ন আকার-বিকৃতি** : কঠিন পদার্থ (ক) বাঁকাইয়া (bending or by flexure), (খ) ঘুরাইয়া বা মোচড় দিয়া (twisting or by torsion), (গ) টানিয়া (stretching or by tension) ইহার আকার-বিকৃতি ঘটান যায়। দৃষ্টান্ত : (ক) সোজা তক্তা বা দণ্ড বল প্রয়োগে বাঁকিয়া যায়। বল সরাইলে পূর্ব অবস্থায় ফেরে। ঘড়ির স্প্রীং, ধনুক, গাড়ীর স্প্রীং—বাঁকান স্থিতিস্থাপকতার উদাহরণ। (খ) ঝুলান তারে একটি বল বাঁধিয়া বলকে ঘুরাইয়া ছাড়িয়া দিলে ইহা কয়েকবার পাক খাইয়া পূর্ব অবস্থায় ফিরিয়া আসে। চৌম্বক বল, তড়িৎ বল মাপ করিবার জন্য তারের এই গুণের ব্যবহার করা হয়। (গ) তার বা রবারকে টানিলে বড় হয়।

১১৬। **ইয়াংস স্থাপিতাঙ্ক** (Young's Modulus) : এমন কঠিন পদার্থ যাহা দৈর্ঘ্যে খুব বড় যথা সরু তার বা দণ্ডের এক প্রান্ত আবদ্ধ করিয়া অপর প্রান্তে ভার চাপাইয়া উহাকে লম্বালম্বি টানিলে উহার দৈর্ঘ্য-বিকৃতি খুব বেশী হয়। আকার ও আয়তনের বিকৃতি খুব কম হয়। এইরূপ

স্থাপিতাঙ্ককে Young's Modulus বলে। মনে কর L দৈর্ঘ্য ও A প্রস্থচ্ছেদ (cross section) বিশিষ্ট তারের উপর P বল ক্রিয়া করিয়া উহার দৈর্ঘ্য l পরিমাণ বাড়াইয়া দেয়। অতএব দৈর্ঘ্য-বিকৃতি (Longitudinal strain) = প্রতি একক দৈর্ঘ্যের বিকৃতি = l/L

দৈর্ঘ্য-পীড়ন = প্রতি একক ক্ষেত্রফলের (area) উপর বল =

$$\frac{P}{A} = \frac{P}{\pi r^2}$$ (r = তারের ব্যাসার্ধ)

∴ ইয়াংস স্থাপিতাঙ্ক = $\dfrac{\text{দৈর্ঘ্য পীড়ন}}{\text{দৈর্ঘ্য বিকৃতি}} = \dfrac{\frac{P}{\pi r^2}}{l/L} = \dfrac{PL}{\pi r^2 l}$ ডাইন/বর্গসেঃ মিঃ ^{2}

(স্থিতিস্থাপক গণ্ডীর মধ্যে) বা পাউণ্ড/ইঞ্চি^{2} ...(৪৮)

১১৭। **ইয়াংস স্থাপিতাঙ্ক নিরূপণ :** (ক) যে পদার্থের স্থাপিতাঙ্ক নিরূপণ করিতে হইবে সেই পদার্থের দুইটি লম্বা সমান মোটা তার A ও B একই জায়গা C হইতে পাশাপাশি ঝুলান হয়। (খ) A তারের শেষ প্রান্তে একটি নির্দিষ্ট ভার W দেওয়া হয় যাহাতে উহা কুচকাইয়া না থাকে। ইহাতে S একটি স্থির স্কেল থাকে। B তারে একটী Vernier V থাকে। Vernierটি স্কেলের গা বরাবর চলিতে পারে। B তারের নিম্নপ্রান্তে ভার চাপানর জন্য K ব্যবস্থা থাকে। A তারের দৈর্ঘ্য অপরিবর্তিত রাখিয়া B তারের দৈর্ঘ্যের বিকৃতি মাপা হয়। সেইজন্য A তারকে নির্দিষ্ট তার (reference wire) বলে এবং B তারকে পরীক্ষাধীন (experimental) তার বলে। (গ) প্রথমে প্রয়োজনমত ভার দিয়া দুই তারকে সোজা করা হয়, যাহাতে তারে কোন কুচকানো না থাকে।

৩১নং চিত্র

(ঘ) B তারের Vernierটি সরাইয়া স্কেলের পাশাপাশি রাখ, স্কেলে Vernierএর O শূন্য দাগের পাঠ লও। (ঙ) বিলম্ব-বিন্দু হইতে Vernierএর শূন্য পর্যন্ত B তারের দৈর্ঘ্য মাপ। তারের প্রত্যেক স্থানে সমকোণে দুইবার স্ক্রু-গেজ দিয়া ব্যাস মাপ। এইরূপ তারের বিভিন্ন স্থানে ব্যাস বাহির করিয়া

গড় ব্যাস বাহির কর। গড় ব্যাসকে দুই দিয়া ভাগ করিয়া ব্যাসার্ধ (r) বাহির কর। (চ) তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $= \pi r^2$ বর্গঃ সেঃ মিঃ। এখন প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলকে তারের দ্রব্যের (material) সহন পীড়ন (breaking stress) দিয়া গুণ করিলে সহন ভার (breaking weight) পাওয়া যাইবে। (১১৮ অনুচ্ছেদ) কার্যতঃ B তারের প্রান্তে Kতে সর্বোচ্চ ওজন কোনমতেই এই সহনভারের অর্ধেকের বেশী রাখা হয় না। ইহাই হইল স্থিতিস্থাপকতার সীমা। (ছ) B তারের শেষে Kতে পর পর একই ওজনের বাটখারা (মনে কর অর্ধ কিলোগ্রাম) চাপাইয়া যাও এবং প্রত্যেক বারের Vernierএর O ডিগ্রির সরণ লিখিয়া রাখ। এই সরণই তারের দৈর্ঘ্য বিকৃতির মাপ। অন্ততঃ পাঁচবার এইরূপে ভার চাপাও। প্রত্যেক বার Vernierএর O ডিগ্রির সরণ লিখিয়া রাখ। (জ) এইবার এক এক করিয়া ভার নামাইয়া যাও এবং প্রত্যেক বার Vernierএর O ডিগ্রির সরণ লিখিয়া রাখ। Vernierএর দুই প্রস্থ পঠন (reading) মিলিবে, যদি না মিলে তবে বুঝিবে B তার স্থিতিস্থাপকতার গণ্ডীর বাহিরে গিয়াছে। একই ভারের জন্য বিকৃতির গড় বাহির কর। মনে কর তারের দৈর্ঘ্য $=$ L সেঃ মিঃ, গড় ব্যাসার্ধ $= r$ সেঃ মিঃ, গড় বিকৃতি $= l$ সেঃ মিঃ, গড় ভার (load) $=$ M $-$ গ্রাম।

$\therefore$ ইয়াংস স্থাপিতাঙ্ক $(Y) = \dfrac{Mg}{\pi r^2} \cdot \dfrac{L}{l}$ ডাইন প্রতি বর্গ সেণ্টি-মিটার···(৪৯)। দুইটি তার একই পদার্থে গঠিত বলিয়া উষ্ণতার হ্রাস-বৃদ্ধিতে উহাদের হ্রাস-বৃদ্ধি সমান হইবে। বিভিন্ন পদার্থের তার লইয়া উপরোক্ত প্রক্রিয়ায় বিভিন্ন পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা তুলনা করা যায়। একই বিকৃতি উৎপন্ন করিতে যদি ইস্পাতের তারের ১০ কিলোগ্রাম ভার দরকার হয় তবে একই প্রকারের তামার তারের ৬ কিলোগ্রাম, পিতলের তারের ৪·৫ কিলোগ্রাম, প্লাটিনাম তারের ৮ কিলোগ্রাম দরকার হবে, সুতরাং ইস্পাত তামার চেয়ে ১·৭ গুণ স্থিতিস্থাপক।

১১৮। সহনভার (Breaking Weight) : ভার ক্রমশঃ বাড়াইলে বিকৃতি বাড়িয়া যাইবে। ভার খুব বেশী বাড়াইতে থাকিলে ভারের একটি মানে

তার স্থিতিস্থাপকতার গণ্ডীর সীমা অতিক্রম করিয়া ছিঁড়িয়া যাইবে। এই অবস্থায় ভারের মানকে বলে **সহনভার**। ইহা তারের সংশক্তির (Tenacity) মাপ। একক প্রস্থচ্ছেদের (unit cross-section) তারের সহন ভারকে **সহনপীড়ন** (Breaking Stress) বলে; সুতরাং কোন তারের সহনভার = সহন পীড়ন × প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল।

১১৯। হুকের নিয়মের সত্যতা নিরূপণ: যদি ভারকে কোটি (ordinate) ও বিকৃতিকে ভুজ (abscissa) স্থির করিয়া লেখ (graph) টানা হয় তবে স্থিতিস্থাপক গণ্ডীর মধ্যে লেখটি সরলরেখা হইবে। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে হুকের নিয়ম সত্য। যখন তারে কোন ভার থাকে না তখন তার বিকৃতি শূন্য হয় এবং লেখ মূলবিন্দু (origin) দিয়া অতিক্রম করে।

অঙ্ক: 1. A copper wire 2 metres long and 0·5 mm in diameter supports a mass of 3 Kgm and is thereby stretched by 2·338 m.m. Calculate Y. (C. U. 1942)

$$Y = \frac{MgL}{\pi r^2 l} = \frac{৩ \times ১০০০ \times ৯৮১ \times ২ \times ১০০}{\pi \times (\cdot০২৫)^2 \times (\cdot২৩৩৮)} = ১২\cdot৯ \times ১০^{১১}$$ ডাইন/বর্গ সেঃ মিঃ।

১২০। কঠিন পদার্থে আণবিক গতি: নিম্নলিখিত ঘটনা হইতে ইহা প্রমাণিত হয়:—(১) **ঊর্ধ্বপাতন** (Sublimation): ঘরের এক কোণে কর্পূর বা কস্তুরী রাখিলে উহাদের গন্ধ অপর কোণে পাওয়া যায়। অল্প উত্তাপে আওডিন উপিয়া যায়। অণুগুলি গতিশীল বলিয়া এইরূপ হয়। (২) **তাপে সম্প্রসারণ**: তাপ দিলে অণুগুলির গতি বৃদ্ধি হয়, ইহারা বেশীদূর যাতায়াত করে; কাজেই কঠিন পদার্থের আয়তন বৃদ্ধি হয়। (৩) **ব্যাপন** (Diffusion): দস্তা ও সোণার পাত গায়ে গায়ে কয়েক মাস লাগাইয়া রাখিলে দস্তার পাতের মধ্যে সোণার কণিকা দেখিতে পাওয়া যায়। অণুর গতির জন্য এইরূপ হয়।

প্রশ্ন

1. State Hooke's Law and define the terms:—Stress, strain, elastic limit, and breaking strength. A plank supported at the ends

bends 2 inches when a load of 50 pounds is placed at its middle point. How much will it bend under a load of 75 pounds? What load will be required to bend it 3·5 inches? (C. U. 1948)

2. Define Young's Modulus of elasticity. How would you determine Young's Modulus for a steel wire? (C. U. 1932, '36, '38, '42)

3. What properties are particularly possessed by liquids and not by solids? What characteristics has a gas which neither liquids nor solids possess? How do you explain this? (C. U. 1940)

4. Explain the terms: Elasticity, perfectly elastic body, perfectly rigid body, stress, strain elastic limit, breaking stress. (C. U. 1942, '47)

উদ্‌স্থিতি বিদ্যা (Hydrostatics)

১২১। **তরলের বিশিষ্ট গুণ:** (ক) ইহার নির্দিষ্ট আয়তন থাকে কিন্তু নির্দিষ্ট আকার থাকে না। (খ) কোন পাত্রে না রাখিলে ইহা নীচের দিকে গড়াইয়া চলে। (গ) স্থির তরলের উপরতল সব পাত্রেই অনুভূমিক হয়। (ঘ) তরল সমতলপ্রবণ (A liquid seeks its own level)। (ঙ) তরলের উপরে প্রযুক্ত চাপ সর্বত্র সমভাবে সঞ্চারিত হয়। (চ) তরলের তলটান (surface tension), কৌশিকত্ব (capillarity) গুণ আছে। আমরা এই গুণগুলির বিশদ আলোচনা করিব।

১২২। **প্রবহমান দ্রব্য** (Fluid): যে পদার্থ যে কোন সামান্য বল প্রয়োগে আকার পরিবর্তনে বাধা দেয় না তাহাকে প্রবহমান পদার্থ বলে। ইহারা পাত্রের আকার ধারণ করে। ইহাদের কোন পাত্রে ধরিয়া না রাখিলে প্রবাহিত হয়। তরল ও গ্যাস উভয়কেই Fluid বলে। তরল কেবল নীচের দিকে প্রবাহিত হয়, গ্যাস চারিদিকে প্রবাহিত হয়। গ্যাস অপেক্ষা তরল বেশী হাল্‌কা, সংনম্য (compressible) ও প্রসারণশীল (expansible).

১২৩। **তরলের চাপ** (Pressure of a liquid): **পরীক্ষা:** (ক) একটি দুই মুখ খোলা নলের নিম্নমুখ হাতের উপর রাখিয়া সোজাভাবে

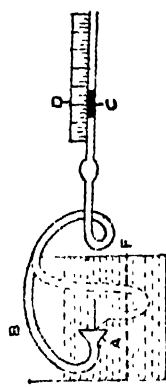
নলটিকে ধর। নলে জল ঢাল। হাতের উপর জলস্তম্ভের ওজনের সমান নিম্নমুখী বল অনুভব করিবে। জলের নির্গমন বন্ধ করিবার জন্য হাত দিয়া একটি সমান ঊর্ধ্বমুখী বল প্রয়োগ করিতে হইবে। হাতের উপর জলের মোট নিম্নমুখী বলের মানকে জলের **ঠেল বা চাপ** (Thrust বা Pressure) বলে। (খ) জলপূর্ণ একটি পাত্রের পার্শ্বে ও তলায় কতকগুলি ছিদ্র করিলে জল ছিদ্র দিয়া পাত্রের গাত্রের অভিলম্ব অভিমুখে (normal to the sides of the vessel) নির্গত হইবে। জলের নির্গমন বন্ধ করিবার জন্য ছিদ্রগুলি কাঠের টুকরা দিয়া ঢাকিয়া বাহির হইতে বলপ্রয়োগ করিতে হইবে। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে পাত্রস্থ তরল পদার্থ সাম্য অবস্থায় পাত্রের গাত্রে যে কোন বিন্দুতে লম্বভাবে বল প্রয়োগ করে। এই মোট অভিলম্ব বলকে তরলের **ঠেল বা চাপ** বলে। কোন বিন্দুর চারিপাশে একক মাত্রা ক্ষেত্রের (unit area) উপর তরল যেটুকু অভিলম্ব বল প্রয়োগ করে তাহাকে **চাপের মাত্রা** বলে (Intensity of pressure is force per unit area)। যদি মোট চাপ P মোট ক্ষেত্রফল A-র উপর সর্বত্র সমভাবে (uniformly) ক্রিয়া করে তবে কোন বিন্দুতে চাপের

$$\text{মাত্রা} = \frac{\text{মোট চাপ}}{\text{মোট ক্ষেত্রফল}} = \frac{P}{A} \quad \cdots(৫০)$$

১২৪। **তরল পদার্থের মধ্যস্থ কোন বিন্দুর উপর চাপ :** এই চাপের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য থাকে :

(ক) **বিন্দুর উপর চারিদিক হইতে চাপের সমতা** (Equality of pressures at a point in all directions) : তরল পদার্থ ইহার মধ্যস্থ যে কোন বিন্দুর উপর নিম্নদিক, ঊর্ধ্বদিক, পার্শ্বদিক-সর্বদিক হইতে চাপ প্রয়োগ করে। এই চাপগুলি যে কোন নির্দিষ্ট বিন্দুতে পরস্পর সমান। নৌকার পার্শ্বে ও তলায় অনেকগুলি ছিদ্র করিলে এই সব ছিদ্র দিয়া জল নৌকার ভিতর প্রবেশ করে—এই ঘটনা তরলের সর্বদিকে চাপের প্রমাণ করে।

পরীক্ষা : একটি কাচকুপী A-র মুখে একটি পাতলা রবার পাত টান করিয়া বাঁধিয়া দাও। রবারের নল B-র সাহায্যে কুপীটিকে একটি সরুরন্ধ্র বিশিষ্ট কাচনলের সঙ্গে যোগ কর। এক ফোঁটা রঙিন জল C কাচনলের

ভিতর রাখিলে উহার গতি চাপের মান নির্দেশ করিবে। কারণ রবারের পাতের উপর আঙ্গুল দিয়া চাপ দিলে নল মধ্যস্থ বায়ু সঙ্কুচিত হইবে এবং রঙিন জল ডানদিকে সরিয়া যাইবে এবং আঙ্গুল সরাইলে অর্থাৎ চাপ কমাইলে জল বাম দিকে সরিবে। কাচনলটিকে ভূ-সমান্তরালে রাখা হয়। ইহার পার্শ্বে একটি স্কেল D লাগান থাকে। একটি জলপূর্ণ গভীর পাত্র G লও। কাচকুপীর মুখটি নীচু করিয়া জলের মধ্যে ডুবাও। জলের **উর্ধ্বচাপ** রবারের পাতের উপর পড়ে, রঙ্গিন জলের ফোঁটা ডান দিকে সরিয়া যায়। একই গভীরতায় রাখিয়া কুপীটির মুখ যে কোন অভিমুখে—নীচু দিকে, পার্শ্বদিকে, উচুদিকে ঘোরাও। দেখিবে রঙ্গিন জলের ফোঁটা স্কেলের প্রায় এক জায়গায় স্থির থাকে। অর্থাৎ **একই গভীরতায় কোন একটি বিন্দুর উপর চাপ সর্বদিক হইতে সমান হয়।** চাপগুলি সমান ও বিপরীতমুখী হয় বলিয়া ইহারা পরস্পরকে প্রশমিত করে; বিন্দুটি সাম্য অবস্থায় থাকে। এক দিকে যদি বেশী চাপ হইত তবে তরল উচ্চ চাপ হইতে নিম্নচাপের দিকে প্রবাহিত হইত।

৩২নং চিত্র

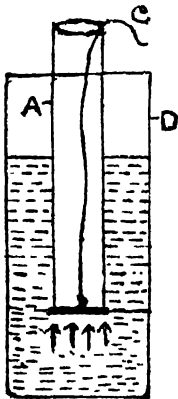
(খ) **একই অনুভূমিক তলে** অর্থাৎ **একই গভীরতায় সকল বিন্দুতে চাপ সমান ঃ**

পরীক্ষা—কুপীটর মুখ একই গভীরতায় (মনে কর EF অনুভূমিক তল বরাবর) বিভিন্ন বিন্দুতে বিভিন্ন দিকে রাখিলে রঙ্গিন জলের ফোঁটা এক জায়গায় থাকে।

(গ) **চাপ গভীরতার সমানুপাতিক হয় ঃ** যতই তরলের উপরতল হইতে কোন বিন্দুর গভীরতা বাড়ে ততই সেই বিন্দুতে তরল পদার্থের ওজন বাড়ে সুতরাং চাপও বাড়ে।

পরীক্ষা—কুপীটি যতই জলের মধ্যে ডুবাইবে ততই রঙ্গিন জলের ফোঁটা ডানদিকে সরিয়া যাইবে। অর্থাৎ গভীরতা যতই বাড়িবে ততই তরলের চাপ বাড়িবে।

(ঘ) **চাপ তরল পদার্থের ঘনাঙ্কের সমানুপাতিক হয়ঃ** তরল পদার্থ যত ঘন হয় একই গভীরতায় তার ওজনও তত বাড়ে সুতরাং চাপও তত বাড়ে। ১২৭ (ক) অনুচ্ছেদের পরীক্ষায় কুপীট বিভিন্ন তরল পদার্থ যথা পারদ, গ্লিসারিণ, জল ও কোহলে উপরতল হইতে তিন ইঞ্চি গভীরতায় ডুবাও। দেখিবে জলের ফোঁটা পারদে সর্বাপেক্ষা বেশী ডান দিকে সরিবে, কোহলে সর্বাপেক্ষা কম সরিবে কারণ পারদের ঘনাঙ্ক সর্বাপেক্ষা বেশী, কোহলের ঘনাঙ্ক সর্বাপেক্ষা কম।

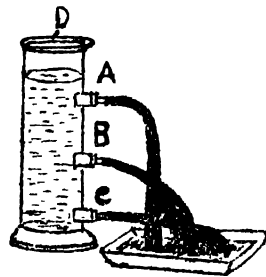
(ঙ) **ঊর্ধ্বচাপ** (Buoyancy)**ঃ** স্থির অবস্থায় তরলের মধ্যে যে কোন বিন্দুতে যেমন উপর হইতে লম্বভাবে নীচের দিকে চাপ পড়ে তেমন নীচ হইতে উপর দিকে লম্বভাবে সমান চাপ পড়ে। এই উপর দিকের চাপকে **ঊর্ধ্বচাপ** বলে। কোন খালি পাত্রের (যেমন খালি কলসী) বদ্ধ প্রান্ত জলে ডুবাও। জলের ঊর্ধ্বচাপ উহাকে উপর দিকে ঠেলিয়া দিবে। উহাকে জোর করিয়া জলের মধ্যে ধরিয়া রাখিতে হয়। উহাকে ছাড়িয়া দিলে জলের ঊর্ধ্বচাপের জন্য লাফাইয়া উঠে। যতই জলের মধ্যে পাত্রকে ডুবান যায় তত ঊর্ধ্বচাপ বাড়ে, তত বেশী জোরের সঙ্গে উহাকে ধরিয়া রাখিতে হয়। খালি পাত্রকে পারদে ডুবাইলে উহাকে বেশী জোরের সঙ্গে ধরিয়া রাখিতে হয় কারণ পারদের ঘনাঙ্ক জলের চেয়ে বেশী বলিয়া উহার উপর পারদের ঊর্ধ্বচাপও বেশী হয়।

৩৩নং চিত্র

(চ) **কোন বিন্দুতে তরলের ঊর্ধ্বচাপ ও নিম্নচাপ সমানঃ**

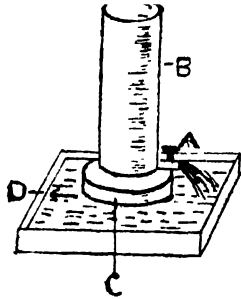
পরীক্ষা—একটি দুই মুখ খোলা খালি চোঙ A লও। ইহার নীচের ঘসা মুখে আংটাযুক্ত টিনের একটি পাতলা রেকাবি (disc-B) ভালভাবে লাগিয়া থাকে। আংটায় একটি সুতা C বাঁধিয়া চোঙের মধ্য দিয়া রেকাবিকে টানিয়া ধর। অপর একটি পাত্র D জলপূর্ণ কর। চোঙকে উপরোক্ত অবস্থায় রেকাবিসুদ্ধ ধরিয়া D পাত্রের

জলের মধ্যে খাড়াভাবে খানিকটা ডুবাইয়া সুতা ছাড়িয়া দাও। B রেকাবি জলের মধ্যে পড়িয়া যায় না; কেন? A চোঙের ভিতর জল না থাকায় রেকাবির উপরে জলের কোন চাপ থাকে না, কেবল বাতাসের চাপ থাকে। কিন্তু রেকাবির নীচে জলের উর্ধ্বমুখী চাপ উপরের দিকে ঠেলা দেয়। সেইজন্য রেকাবি চোঙের মুখে আটকাইয়া থাকে, পড়ে না। এখন চোঙে রঙ্গিন জল ঢাল। যখন চোঙের ভিতরের রঙ্গিন জলের তল বাহিরের জলের একই তলে আসিবে তখন রেকাবিখানি আপনিই খুলিয়া যাইবে কারণ এই অবস্থায় রেকাবির নীচের তলায় জলের উর্ধ্বচাপ ও উপর তলায় জলের নিম্নচাপ সমান হয় এবং এই নিম্নচাপ আবার রেকাবির উপর জলস্তম্ভের ওজনের সমান। রেকাবি নিজের ভারের জন্য পড়িয়া যায়: অতএব **উর্ধ্বচাপ = নিম্নচাপ = জলস্তম্ভের ওজন।**

(ছ) **পার্শ্বচাপ** (Lateral Pressure): তরল পদার্থ পাত্রের তলায় যেমন চাপ দেয় ইহা পাত্রের পার্শ্বদেশে তেমন চাপ দেয়। এই চাপকে **পার্শ্বচাপ** বলে। মাটির কলসীর গায়ে ছিদ্র করিলে পার্শ্বচাপের জন্য জল পড়ে।

পরীক্ষা—একটি লম্বা চোঙ Dর গায়ে উপর হইতে পর পর তিনটি ছিদ্র A, B C করিয়া ছিদ্রগুলি ছিপি দিয়া আঁটিয়া দাও। চোঙকে জলপূর্ণ কর। ছিপিগুলি একসঙ্গে খুলিয়া দাও। পার্শ্বচাপের জন্য সব ছিদ্র দিয়া জল বাহির হইবে। কিন্তু উপরের ছিদ্র A অপেক্ষা নীচের ছিদ্র C দিয়া বেশী জোরে জল বাহির হইবে। অতএব জলের গভীরতা যত বাড়ে নিম্নচাপের ন্যায় পার্শ্বচাপও তত বাড়ে।

৩৪নং চিত্র

পরীক্ষা—তলদেশের কাছাকাছি একটি প্যাচকল (A) যুক্ত একটি লম্বা পাত্র (B) লও। পাত্রটি জলপূর্ণ কর। তৎপরে একটি বড় কর্কের (C) উপর পাত্রটি সোজাভাবে রাখিয়া কর্কটি D পাত্রের জলে ভাসাইয়া দাও। প্যাচকল বন্ধ থাকিলে পাত্রের গায়ে সর্বত্র বহির্মুখী চাপ পড়ে এবং একই গভীরতায় উহারা পরস্পর

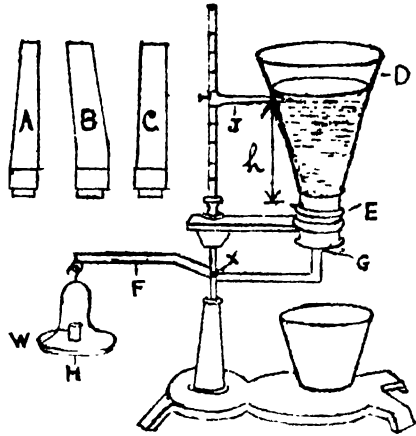
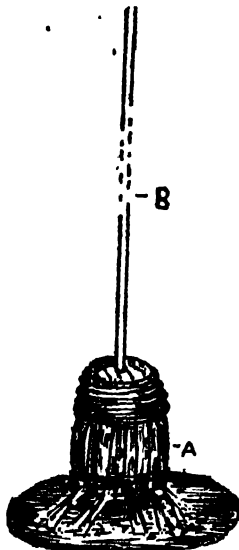
সমান ও বিপরীত হওয়াতে প্রশমিত (nentralised) হয়। সুতরাং পাত্রটি জলের উপর নড়ে না। প্যাঁচকল খুলিলে জল বাহির হয় এবং ঠিক প্যাঁচকলের মুখ Aতে বহির্মুখী চাপ কমিয়া যায় কিন্তু প্যাঁচকলের মুখের বিপরীত বিন্দুতে জলের বহির্মুখী চাপ পূর্বের মতন থাকে। এই চাপের অসমতার জন্য যে দিকে বেশী চাপ সেই দিকে পাত্রটি সরিয়া যায়।

৬৫নং চিত্র

পরীক্ষা—Barker's Mill বা Hydraulic Tourniquet—এই যন্ত্রে একটি জলপূর্ণ পাত্র লম্ব অক্ষের চারিপাশে বিনা বাধায় ঘুরিতে পারে। ইহার নীচের দিকে ভূসমান্তরাল নল লাগান থাকে। নলগুলির মুখ একই দিকে বাঁকান থাকে। নল দিয়া জল বাহির হইবার সময় সেই দিকের চাপ কম হইয়া যায়। নলের বাঁকের বিপরীত দিকে চাপের আধিক্যের জন্য পাত্রটি ঘুরিতে থাকিবে।

(জ) পাত্রের গাত্রে যে কোন বিন্দুতে চাপ অভিলম্বভাবে ক্রিয়া করে।

(I) **পাত্রের তলদেশে চাপ তরলের গভীরতার ও তলদেশের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে।** চাপ তরলের মোট পরিমাণের বা পাত্রের আকারের উপর নির্ভর করে না :—

পরীক্ষা—(Masson's Experiment) : A, B, C, D চারিটি দুই মুখ খোলা পাত্র। এই পাত্রগুলিকে Pascalএর পাত্র (vases) বলে। ইহাদের আকার, আয়তন ও উপর মুখের প্রস্থচ্ছেদ (cross-section) সমান নয় কিন্তু নিম্নমুখের প্রস্থচ্ছেদ সমান। পাত্রগুলির নীচের মুখ একটি কাষ্ঠখণ্ড Eএর মধ্যস্থিত সমব্যাসযুক্ত ছিদ্রে প্যাঁচ দিয়া বসান যায়। F লিভারের (বা তুলা দণ্ডের) এক প্রান্তে একটি চাকতি G ও অপর প্রান্তে একটি পাল্লা H আছে। × হইল লিভারের আলম্ব। এই চাকতিটি সব পাত্রের নীচের মুখে এমনভাবে জোরে লাগিয়া যায় যে ইহার পাশ দিয়া জল পড়ে না। পাল্লায় ওজন W রাখা হয়। D পাত্রকে কাষ্ঠ খণ্ডের ছিদ্রের মধ্যে প্যাঁচ দিয়া বসাও। পাল্লায় সুবিধাজনক ওজন রাখ। G চাকতিটি

ছিদ্রের মুখে জোরে লাগিয়া যায়। পাত্রে জল ঢালিয়া যাও যতক্ষণ পর্যন্ত জলের চাপে চাকতি নামিয়া না যায়। এই অবস্থায় J নির্দেশক-কাঁটা (pointer) সরাইয়া জলের উপর তলের গায়ে লাগাও। D পাত্র উঠাইয়া পর পর A, B, C পাত্র E কাষ্ঠ-খণ্ডের ছিদ্রের উপর রাখ। পাল্লায় ওজন একই রাখিয়া উপরোক্ত প্রক্রিয়ার পুনরাবৃত্তি কর। দেখিবে প্রত্যেক বারে একই দাগ পর্য্যন্ত (একই উচ্চতায়) জলতল পৌঁছিলে চাক্‌তিটি নীচে নামিয়া যায় এবং জল পড়িয়া যায়। চারিটি পাত্রের আকার ও আয়তন বিভিন্ন হওয়ায় উহারা একই

৩৬নং চিত্র

উচ্চতায় বিভিন্ন পরিমাণ জল ধরে কিন্তু চারিটি পাত্রের তলদেশে চাকতির উপর জলের চাপ প্রত্যেক বার একই হয় কারণ চাক্‌তির বর্গফল এক এবং চারিটি পাত্রে জলের গভীরতা এক। এই চাপের পরিমাণ চাক্‌তির উপর যে জলস্তম্ভ **লম্বভাবে** (vertically) থাকে তাহার ওজনের সমান। অর্থাৎ জলের মোট পরিমাণ বেশী হইলেও চাপের তারতম্য হয় না। এই ঘটনা আপাত দৃষ্টিতে আশ্চর্য্যজনক মনে হয় বলিয়া ইহাকে **উদ্‌স্থৈতিক ধাঁধাঁ** (Hydrostatic Paradox) বলে।

৩৭নং চিত্র

পরীক্ষা (Pascal's experiment): প্যাস্কেল একটি শক্ত কাঠের পিপা A জলপূর্ণ করিলেন। পিপাটি ফাটিল না। তারপর পিপার মাথায় একটি

৩০ ফুট দীর্ঘ সরু নল B লাগাইয়া নল দিয়া ধীরে ধীরে জল ঢালিতে লাগিলেন। নলটি জলপূর্ণ হইলে শক্ত পিপা ফাটিয়া গেল। নলে যদিও সামান্য জল ঢালা হইল তবুও পিপা ফাটিল কেন? কারণ পিপার তলদেশে চাপের পরিমাণ একটি জলস্তম্ভের ওজনের সমান যাহার ভূমি (base) পিপার তলদেশ ও যাহার উচ্চতা নলে জলের উচ্চতার সমান

দ্রষ্টব্য ঃ তরল পদার্থের চাপ বলিলে তরল পদার্থ দ্বারা স্পৃষ্ট (touched) কোন তলে চাপের কথা বোঝায়। পাত্রের বাহিরে কোন তলে চাপ পৃথক হয়। টেবিলের উপর কোন জলপূর্ণ পাত্র রাখিলে টেবিলের উপর চাপ ও পাত্রের তলদেশে তরলের চাপ পৃথক হয়।

১২৫। চাপের পরিমাণ (Magnitude of Pressure)**:** তরল পদার্থের ভিতর কোন অনুভূমিক তলে মোট নিম্ন চাপ = সেই তলের উপর তরল পদার্থের যে স্তম্ভ লম্বভাবে দাঁড়াইয়া থাকে তাহার ওজন।

মনে কর, A ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট একটি তলকে ρ ঘনাঙ্ক বিশিষ্ট কোন তরল পদার্থের উপরতল হইতে h গভীরতায় ডুবান হইল এবং মনে কর সেই স্থানে অভিকর্ষজাত ত্বরণ $= g$.

তরল পদার্থের আয়তন = ক্ষেত্রফল × উচ্চতা $= Ah$. $\therefore$ ভর $M =$ আয়তন × ঘনত্ব $= Ah\rho$.

$\therefore$ তরল স্তম্ভের ওজন $= M \times g = Ah\rho g$. $\therefore$ A তলের উপর মোট নিম্ন চাপ $= Ah\rho g$.

$\therefore$ A তলের কোন বিন্দুতে চাপ $= \dfrac{Ah\rho g}{A} = h\rho g$. ...(৫১)

$\therefore$ চাপ উচ্চতা ও ঘনত্বের সমানুপাতিক হয়।

আমরা জানি কোন বিন্দুতে নিম্নচাপ, উর্ধ্বচাপ ও পার্শ্বচাপ সমান হয়।

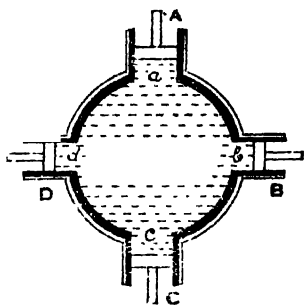
$\therefore$ এই সকল চাপের পরিমাণ $= h\rho g$.

যদি বায়ুর চাপ π হয় তবে কোন বিন্দুতে মোট চাপ $= \pi + h\rho g$.

১২৬। চাপের সঞ্চারণ (Transmission of Pressure)**:**

প্যাস্কেলের নিয়ম ঃ কোন পাত্রে আবদ্ধ (confined) তরল পদার্থের উপর

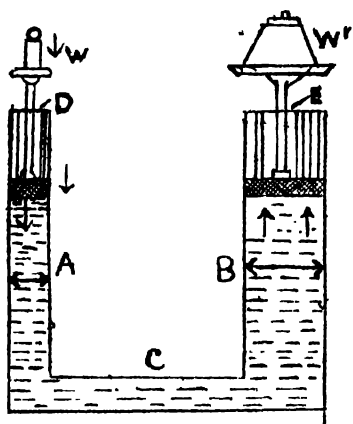
যে কোন স্থানে কোন চাপ প্রয়োগ করিলে এই চাপ তরলের মধ্য দিয়া সর্বদিকে সমান হারে সঞ্চারিত হয় এবং সর্বত্র একক ক্ষেত্রফলে সমান বলের সহিত লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

পরীক্ষা—এই নিয়ম প্যাস্কেল আবিষ্কার করেন। একটি বন্ধ পাত্রের গায়ে চারিটি ছিদ্রকে জলরোধক (water tight) গতিশীল (movable) পিষ্টন A, B, C, D দিয়া বন্ধ করা আছে। মনে কর চারিটি পিষ্টনের প্রস্থচ্ছেদ a, b, c, d। পাত্রটি জলপূর্ণ কর। যে কোন পিষ্টনে চাপ দিলে অন্য পিষ্টনগুলি বাহিরের দিকে সরিয়া যাইবে। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে **প্রযুক্ত চাপ সর্বদিকে সঞ্চারিত হয়।**

৩৮নং চিত্র

আবার যদি A পিষ্টনে একক ক্ষেত্রফলে প্রযুক্ত চাপ P হয় তবে Aতে মোট চাপ হইবে $P \times a$, B, C ও D পিষ্টনে মোট প্রযুক্ত চাপ যথাক্রমে $P \times b$, $P \times c$, $P \times d$ হইবে। ইহা হইতে বুঝা যায়, **প্রযুক্ত চাপ প্রতি একক ক্ষেত্রে সম পরিমাণে সঞ্চারিত হয়।**

১২৭। চাপ-প্রয়োগে বল-বৃদ্ধি (Multiplication of Forces by Pascal's law): মনে কর A ও B দুইটি জলপূর্ণ ছোট ও বড় চোঙ। ইহাদের প্রস্থচ্ছেদ যথাক্রমে a ও b (a অপেক্ষা b বড়)। ইহারা সরু নল C দিয়া সংযুক্ত। চোঙ দুইটির মুখে যথাক্রমে D ও E জলরোধক পিষ্টন আছে। মনে কর W ওজন ছোট পিষ্টন Dএর উপর রাখা হইল। এই ওজন নিম্নদিকে জলের উপর চাপ দিবে। প্যাস্কেলের নিয়মানুসারে একক ক্ষেত্রফলের উপর চাপ $=\frac{W}{a}$। একই মাত্রা চাপ জলের মধ্য দিয়া সঞ্চারিত হইয়া E পিষ্টনের প্রতি একক ক্ষেত্রফলে নিম্নদিক হইতে উপর দিকে ক্রিয়া করিবে। সুতরাং E পিষ্টনে প্রতি একক ক্ষেত্রফলে চাপ হইবে $\frac{W}{a}$ এবং মোট চাপ হইবে $\frac{W}{a} \times b$। এই

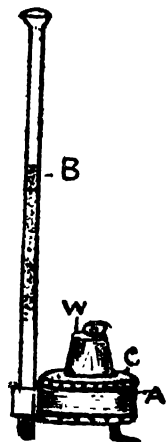
চাপ E পিষ্টনকে উপর দিকে ঠেলিবে। মনে কর জলের সাম্য অবস্থা রাখিতে হইলে অর্থাৎ E পিষ্টনকে স্বস্থানে রাখিতে হইলে E পিষ্টনের উপর W^1 ওজন চাপাইতে হইল।

$$\therefore\ W^1 = \frac{W}{a} \times b.\ \text{বা}\ \frac{W^1}{b} = \frac{W}{a}\ \text{বা}\ \frac{W}{W^1} = \frac{a}{b} \quad \cdot(৫২)$$

৩৯নং চিত্র

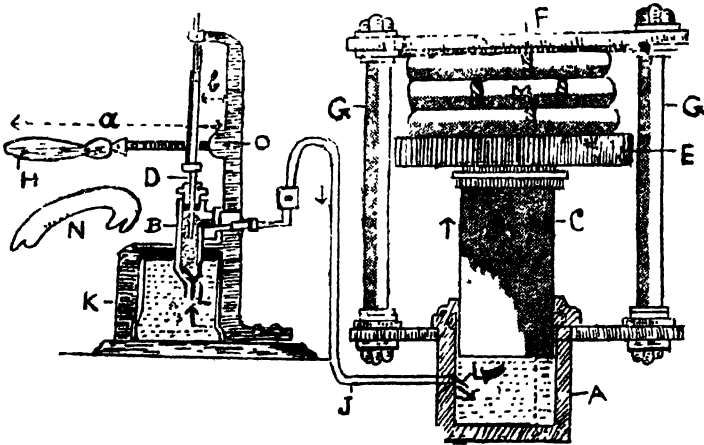
অর্থাৎ b, aএর যতগুণ হইবে W', Wএর ততগুণ হইবে। যদি B পিষ্টনের ব্যাস ($2r$) A পিষ্টনের ব্যাসের a গুণ হয় তবে Bএর প্রস্থচ্ছেদ Aএর প্রস্থচ্ছেদের a^2 গুণ হইবে। যদি Bএর ক্ষেত্রফল Aএর ক্ষেত্রফলের ১০০ গুণ হয় তবে Aএর উপর ১সের ওজন চাপাইলে Bএর উপর নিম্নদিক হইতে ১০০ সের বা ২॥০ মণ চাপ পড়িবে।

বদ্ধ তরলের উপর একস্থানে পদার্থের এই প্রকারে ছোট বল প্রয়োগ করিয়া তরল পদার্থের অন্যত্র উহার বহুগুণ বল উৎপন্ন করা যায়।

৪০নং চিত্র

১২৮। **উদস্থৈতিক হাঁপর** (Hydrostatic Bellows) : এই যন্ত্রে একটি মোটা রবারের থলি বা চামরার হাঁপরের (A) সঙ্গে দীর্ঘ কাচনল B লম্বভাবে লাগান থাকে। থলি ও নলের খানিকটা জলপূর্ণ থাকে। ওজন চাপাইবার জন্য থলির উপর পাতলা কাষ্ঠখণ্ড C থাকে। নলের ভিতর যে সরু জলস্তম্ভ থাকে শুধু তাহার চাপ জলের মধ্য দিয়া সঞ্চারিত হইয়া থলির উপরতলায় উর্ধ চাপ দেয়, নলের প্রস্থচ্ছেদ থলির উপরতলার ক্ষেত্রফলের চেয়ে অনেক কম বলিয়া এই উর্ধ চাপ এত বেশী হয় যে একটা মানুষ কাষ্ঠখণ্ডের উপর

দাঁড়াইয়া থাকিতে পারে। মনে কর নলের প্রস্থচ্ছেদ = ১ বর্গ সেঃ মিঃ, হাঁপরের প্রস্থচ্ছেদ = ১০০০ বর্গ সেঃ মিঃ। এখন হাঁপরের উপর ১০০ কিলোগ্রাম ওজন বসাইয়া যন্ত্রে এক লিটার (= ১০০০ ঘন সেঃ মিঃ) জল ঢালিলে নলে এই জল ১০০ সেঃ মিঃ ও হাঁপরে ·৯ সেঃ মিঃ উচু হইবে। ১০০ সেঃ মিঃ উচ্চ ও ১ বঃ সেঃ মিঃ ক্ষেত্রফল এইরূপ জলস্তম্ভের ওজন = ১০০ গ্রাম ∴ হাঁপরের নীচে সঞ্চারিত মোট চাপ = ১০০ × ১০০০ গ্রাম কারণ নলে প্রতি একক বর্গক্ষেত্রে চাপ = ১০০ গ্রাম।

১২৯। **ঔদক প্রেস** (Hydraulic or Bramah's Press) **: নীতি :** তরল পদার্থে অল্প চাপ-প্রয়োগে বহুগুণ বল-বৃদ্ধির নীতির সুযোগ লইয়া এই যন্ত্র আবিষ্কৃত হইয়াছে। কাপড়, পাট, ও তুলার গাইট বাঁধিবার, বীজ হইতে তৈল নিষ্কাশন প্রভৃতি কাজের জন্য, এই যন্ত্র দিয়া প্রচণ্ড বল উৎপন্ন করা হয়।

যন্ত্রের বিবরণ : এই যন্ত্রে নিম্নলিখিত অংশ থাকে : (ক) A ও B দুইটি লোহার শক্ত চোঙ। Aএর প্রস্থচ্ছেদ Bএর প্রস্থচ্ছেদ অপেক্ষা অনেক বেশী।

৪১নং চিত্র

(খ) প্রত্যেক চোঙে লোহার নীরেট (solid) জলরোধক গতিশীল পিষ্টন C ও D আছে। C পিষ্টনের মাথায় একটি লোহার শক্ত প্ল্যাটফরম E থাকে। প্ল্যাটফরমের উপরে দিকে একটি শক্ত লোহার পাত F চারিটি লোহার

থামের (G) উপর আটকান থাকে। (৪১নং চিত্রে দুইটি থাম দেখান হইয়াছে) প্ল্যাটফরম ও পাতের মধ্যে যে জিনিষের (M) উপর চাপ প্রয়োগ করা হবে তাহা রাখা হয়। D পিষ্টনকে H লিভারের সাহায্যে উঠান বা নামান যায়। লিভারে আলম্ব (fulcrum) লিভারের শেষ বিন্দু Oতে থাকে। (গ) দুইটি চোঙকে শক্ত নল J দিয়া যুক্ত করা হয়। (ঘ) K একটি জলপূর্ণ চৌবাচ্চা। (ঙ) L কপাট (Valve) দিয়া জল চৌবাচ্চা হইতে B চোঙে প্রবেশ করে, L′ কপাট দিয়া জল B চোঙ হইতে J নল দিয়া A চোঙে প্রবেশ করে। কপাট দুইটি মাত্র এক দিকে খোলে। (চ) পিষ্টন দুইটিকে সম্পূর্ণ জলরোধক করিবার জন্য ইঞ্জিনিয়ার Bramah নিম্নলিখিত উপায় উদ্ভাবন করেন: চোঙের গায়ে গর্ত বা খোঁদল করিয়া সেই খোঁদলে মোটা চামড়ার ∩ আকৃতির একটি বেষ্টনী N রাখা হয়। চামড়াকে তৈলসিক্ত করা হয়। ঊর্ধ্বগামী জলের চাপে চামড়ার বেষ্টনী একটু স্ফীত হইয়া পিষ্টনের গায়ে আরও আঁটিয়া বসে। ইহার ফলে বেষ্টনীর জলরোধক ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়।

কার্যপ্রণালী: (ক) H লিভারের সাহায্যে D পিষ্টনকে উপরে তুলিলে B চোঙে চাপ-হ্রাস হয়। চৌবাচ্চার জলের উপর থাকে বাহিরের বায়ুর বেশী চাপ। সেইজন্য জল চৌবাচ্চা K হইতে L কপাট দিয়া B চোঙে প্রবেশ করে। (খ) আবার D পিষ্টনের উপর বল প্রয়োগ করিয়া নীচে নামাইলে B চোঙের ভিতর চাপের বৃদ্ধি হয় সেইজন্য L কপাট বন্ধ হইয়া যায় এবং L′ কপাট খুলিয়া যায় এবং জল A চোঙে প্রবেশ করে। এইরূপে D পিষ্টনের প্রত্যেক ঊর্ধ্বগতিতে (upward stroke) K চৌবাচ্চা হইতে খানিকটা জল B চোঙে প্রবেশ করে এবং পিষ্টনের প্রত্যেক নিম্নগতিতে সেই জল A চোঙে প্রবেশ করে। সুতরাং D পিষ্টনের উপর প্রযুক্ত চাপ প্যাস্কেলের নিয়মানুসারে জলের মধ্য দিয়া সঞ্চারিত হইয়া C পিষ্টনকে নীচে হইতে উপরের দিকে ঠেলিয়া দেয়। A চোঙের প্রস্থচ্ছেদ B চোঙের প্রস্থচ্ছেদ অপেক্ষা অনেক বেশী বলিয়া এই চাপ C পিষ্টনের নীচে বহুগুণ বৃদ্ধি পায়। এই চাপের জন্য প্ল্যাটফরম ধীরে ধীরে উপরে উঠিতে থাকে এবং উহার উপরিস্থিত দ্রব্য পাট, তুলা প্রভৃতি পিষ্ট (compressed) হয়। L′ কপাট জলের B চোঙে পশ্চাৎ-গমন বন্ধ করিয়া দেয়।

কতগুণ বল পাওয়া যায় :—মনে কর A ও B চোঙের প্রস্থচ্ছেদ যথাক্রমে $=\beta$, α এবং লিভারের শেষপ্রান্তে প্রযুক্ত বল $=F'$। D পিষ্টনের উপর সঞ্চারিত বল $=F^2$ সুতরাং লিভারের যান্ত্রিক সুবিধা (mechanical advantage) m

$$=\frac{F^2}{F^1}=\frac{\text{ক্ষমতা (power) বাহু}}{\text{রোধ- (resistance) বাহু}}=\frac{\text{বড় বাহু}}{\text{ছোট বাহু}}=\frac{a}{b}\text{(মনে কর)}$$

$$\therefore\ F^2=m.\ F^1=\frac{a}{b}F^1$$

মনে কর C পিষ্টনের উপর মোট ঊর্ধ্ব বল $=F$.

$$F=\beta.\frac{F^2}{\alpha}=\frac{\beta}{\alpha}m.\ F^1\ \cdots(৫৩)$$

$$\therefore\ \text{সমস্ত যন্ত্রের যান্ত্রিক সুবিধা}=\frac{F}{F^1}=m.\frac{\beta}{\alpha}.=\frac{a}{b}.\frac{\beta}{\alpha}\cdots(৫৪)$$

অতএব লিভারের উপর সামান্য বল প্রয়োগ করিয়া C পিষ্টনের নীচে প্রচণ্ড বল উৎপন্ন করা যায়। যদি লিভারের বড় বাহু ছোট বাহুর দশগুণ হয় এবং Aএর প্রস্থচ্ছেদ Bএর প্রস্থচ্ছেদ অপেক্ষা ১০০ গুণ হয় তবে C পিষ্টনের নীচে বল অর্থাৎ যান্ত্রিক সুবিধা (১০ × ১০০ =) ১০০০ গুণ বাড়িবে।

কার্যের পরিমাণ : মনে কর ছোট পিষ্টন D x দূরত্ব নামিল $\therefore x\times\alpha$ আয়তনের জল বড় চোঙে ঢুকিবে। এই জলের জন্য বড় পিষ্টন C $\frac{x\times\alpha}{\beta}$ দূরত্ব উঠিবে। $\therefore$ ছোট পিষ্টনের দ্বারা কার্য = বল × দূরত্ব $=F^2\times x$

এবং বড় পিষ্টনের উপর কার্য $=\frac{F\times x\times\alpha}{\beta}=F^2\times\frac{\beta}{\alpha}\times x\times\frac{\alpha}{\beta}=F^2\times x$

$\therefore$ ছোট পিষ্টনের কার্য = বড় পিষ্টনের কার্য। $\therefore$ শক্তির নিত্যতা এই যন্ত্রের বেলায় খাটে।

অঙ্ক : 1. At what depth below the surface of water will the pressure be equal to two atmospheres, if the atmospheric pressure be 1 megadyne (10^6 dynes). (C. U. 1931)

মনে কর জলের গভীরতা $=h$.

বায়ুর চাপ যখন এক মেগাডাইন তখন h গভীরতায় শুধু জলের চাপ হইবে এক মেগাডাইন। অতএব জলের ঘনত্ব ১ ধরিলে h × ৯৮০ × ১ = ১০৬. ∴ h = ১০১৯.৩৭ সেণ্টিমিটার

2. **How much weights can be raised on a large piston of area 20 sq. ft by a force of 20 pounds acting on a piston of area one sq. foot?** (C. U. 1946)

$$W^1 = \frac{b}{a}.w = \frac{২০}{১} \times ২০০ = ৪০০০ \text{ পাউণ্ড},$$

১৩০। **তরল পদার্থের সাম্যের সর্ত** (Conditions of Equilibrium of liquids): যখন কোন তরল পদার্থ কেবল অভিকর্ষ বলের ক্রিয়ায় স্থির অবস্থায় থাকে তখন (ক) ইহার প্রত্যেক অণুর উপর সর্বদিক হইতে সমান চাপ পড়ে বলিয়া ইহা স্থির থাকে এবং (খ) ইহার উপরতল ভূ-সমান্তরাল হয়। যদি কোন অণুর উপর একদিক হইতে বেশী চাপ পড়িত তবে ইহা বেশী চাপের দিকে সরিয়া যাইত সাম্য অবস্থা নষ্ট হইত। যদি উপরতল উচুনীচু হইত তবে তরল পদার্থ উচু জায়গা হইতে নীচু জায়গার দিকে প্রবাহিত হইত, সাম্য অবস্থা নষ্ট হইত। কৈশিক বলের (Capillary forces) ক্রিয়ায় যখন তরল পদার্থ সাম্য অবস্থায় থাকে তখন ইহার উপরতল অনুভূমিক হয় না।

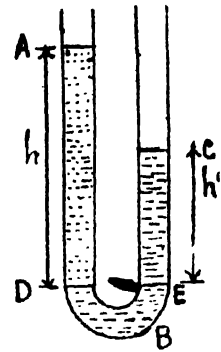
১৩১। **যুক্ত পাত্রে** (Communicating vessels) **তরল পদার্থের সাম্য**: যদি কতকগুলি বিভিন্ন আকার ও আয়তনের যুক্ত পাত্রের কোন একটিতে তরল পদার্থ ঢালা যায় তবে (ক) সবগুলিতেই তরল পদার্থের উচ্চতা একই হয় এবং (খ) তরলের উপরতল সকল পাত্রে একই সমান্তরাল তলে থাকে। এই গুণকে বলা হয় যে **তরল পদার্থ একই তলে থাকিতে চায়** (A liquid seeks its own level). এইজন্য গাড়ুতে, বদনাতে বা কেটলিতে ও তৎসংলগ্ন নলে জলের উচ্চতা এক হয়। (গ) যদি সকল পাত্রে তরল পদার্থের মধ্য দিয়া যে কোন একটি অনুভূমিক তল টানা হয় তবে ঐ তলের উপর সকল বিন্দুতে একই চাপ পড়ে। এই গুণটি বিশেষ ভাবে স্মরণ রাখিবে।

১৩২। **একই পাত্রে বিভিন্ন তরল পদার্থের সাম্য :** (ক) বিভিন্ন ঘনাঙ্কের কতকগুলি তরল পদার্থ (যাহা পরস্পর মিশে না) একই পাত্রে ঢালিলে উহারা ঘনাঙ্ক অনুসারে দাঁড়ায়। সর্বাপেক্ষা ভারী পদার্থ নীচে থাকে, সর্বাপেক্ষা হাল্‌কা পদার্থ উপরে থাকে। দুইটি পদার্থের স্পর্শতল (surface of contact) সমান্তরাল হয়।

(খ) **U-আকৃতির নলে দুই তরল পদার্থের সাম্য :** যদি দুইটি বিভিন্ন ঘনাঙ্কের তরল পদার্থ (যাহা পরস্পর মিশে না) দুইটী যুক্তপাত্রে (যথা U-আকৃতির নলে) ঢালা যায় তবে (১) দুইটী তরল পদার্থের উপরতল অনুভূমিক হইলেও একই তলে থাকে না। (২) দুই তরলের স্পর্শতল হইতে প্রত্যেক তরল পদার্থের স্তম্ভের উচ্চতা উহাদের ঘনাঙ্কের ব্যস্তানুপাতিক হয়।

A, B, D C একটি U-আকৃতির নল। ইহার যে কোন বাহুতে খানিকটা পারদ ঢাল। পারদ স্তম্ভ দুই বাহুতেই একই উচ্চতায় থাকে। A D বাহুতে জল ঢাল। মনে কর স্থির অবস্থায় পারদ ও জলের স্পর্শতল Dতে দাঁড়ায় এবং ইহাদের উপরতল যথাক্রমে C ও Aতে দাঁড়ায়। মনে কর Dতে একটি অনুভূমিক তল টানিলে উহা অপর বাহুকে Eতে স্পর্শ করে। অতএব Dতে চাপ = Eতে চাপ। মনে কর P = বায়ুর চাপ, ρ ও ρ' = জলের ও পারদের ঘনাঙ্ক, $AD = h$, $EC = h'$ তবে Dতে চাপ $= P + h\rho g$, Eতে চাপ $= P + h'\rho' g$.

৪২নং চিত্র

$P + h\rho g = P + h'\rho' g$. বা $h\rho = h'\rho'$ $\cdot\ h' _ p$ ·(৫৫)

অতএব সাম্য অবস্থায় তরল পদার্থের উচ্চতা ও ঘনত্ব ব্যস্তানুপাতিক হয়। মনে রাখিবে এখানে প্রতি একক ক্ষেত্রফলে চাপ ধরা হইয়াছে। কাজেই নলের প্রস্থচ্ছেদ গণনায় আসে না।

১৩৩। **তরল পদার্থের সাম্যের দৃষ্টান্ত :** (ক) **স্পিরিট লেভেল (Spirit Level) :** এই যন্ত্রে একটি সামান্য বাঁকা কাচ নলে কোহল বা স্পিরিট

ও বাতাসের একটি বুদ্‌বুদ্‌ থাকে। যন্ত্রটি পিতলের আধারের মধ্যে রাখা হয়। সম্পূর্ণ অনুভূমিক তলে যন্ত্রটি রাখিলে বাতাসের বুদ্‌বুদ্‌ দুইটি চিহ্নের ঠিক মধ্যখানে থাকিবে। পরীক্ষাধীন তলটি ঢালু হইলে, ঢালের বিপরীত দিকে বুদ্‌বুদ্‌ থাকিবে। কোন তল ঠিক অনুভূমিক কিনা পরীক্ষা করিবার জন্য ইহা ব্যবহৃত হয়।

(খ) **জল-লেভেল** (Water Level): এই যন্ত্রে একটি ধাতব নলের দুই প্রান্ত সমকোণে বাঁকান থাকে এবং দুই প্রান্তে দুইটি কাচ নল জোড়া থাকে। সমস্ত নলটিকে একটি তেপায়ার (tripod stand) উপর বসান থাকে। নলে রঙিন জল ঢালা হয়। তলটি অনুভূমিক হইলে নলের দুই বাহুতে জলের উপরতল একই অনুভূমিক তলে থাকিবে। এই যন্ত্র দিয়া একটি দাগ-কাটা দণ্ডের সাহায্যে কোন দুই স্থানের তলের পার্থক্য দেখা হয়।

১৩৪। সহরে জল সরবরাহ—নদী, পুকুর বা সরোবর হইতে পাম্প করিয়া জল একটি উচ্চস্থানে অবস্থিত আধারে (reservoir) তোলা হয়। আধারের সঙ্গে প্রত্যেক বাড়ীর ছোট-বড় নল দ্বারা সংযোগ করা হয়। আধারের জলতলের অভিলম্ব উচ্চতার (head of water) উপর জলের চাপ নির্ভর করে। জল উচুস্থান হইতে নল দিয়া নামিয়া একই তলে উঠিতে চেষ্টা করে সেইজন্য ইহাতে চাপ সৃষ্টি হয়। এই চাপেতে প্রত্যেক বাড়ীতে জল সরবরাহ হয়। নলের ও বায়ুর ঘর্ষণ প্রতিরোধের জন্য জল ঠিক আধারের উচ্চতায় উঠে না। কলিকাতায় জলাধার প্রায় ১০০ ফুট উচ্চ।

প্রশ্ন

1. Describe an experimental arrangement to show that water exerts pressure in all directions. (C. U. 1911, '14, '27)

2. Explain the term Fluid Pressure. Describe an experiment to show that water exerts pressure in all directions. (C. U. 1927, '40)

3. A tall vessel provided with a tap at the side near the bottom is filled with water and made to float upright on a thick plate of cork. Explain what will happen when the tap is opened. (C. U. 1914)

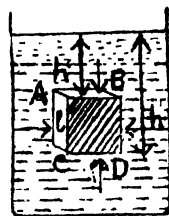
4. Obtain an expression for the total liquid thrust in absolute units on a plane horizontal bottom of a liquid. (C. U. 1940)

5. Explain what you mean by Hydrostatic Paradox. (C. U. 1942)

6. State Pascal's law. Describe a siutable experiment to verify it. (C. U. 1922, '29, '31, 44)

7. Describe the principle and action of Hydroalic Press giving a sectional diagram. (C. U. 1929, '34, '37, '40, '42, '44, '48)

আর্কিমিদিস নিয়ম (Archimedes' Principle)

১৩২। **তরলে নিমজ্জিত কঠিনের উপর মোট চাপ:** মনে কর কোন তরল পদার্থে ABCD একটি ছয়তল বিশিষ্ট আয়তক্ষেত্রিক কঠিন পদার্থ খাড়াভাবে নিমজ্জিত করা হইল। চতুর্দিকস্থ তরল পদার্থ কঠিনের চারিটি খাড়াতলে (vertical faces) এবং উপর ও নীচের দুইটি অনুভূমিক তলে— মোট ছয়টি তলে চাপ দিবে। খাড়াতলে চাপগুলি অনুভূমিকভাবে এবং অনুভূমিকতলে চাপগুলি লম্বভাবে ক্রিয়া করে। প্রত্যেক খাড়াতলের যে কোন বিন্দুতে চাপ একই অনুভূমিক রেখায় অবস্থিত ঠিক বিপরীত খাড়াতলের আনুসঙ্গিক বিন্দুতে চাপের সমান ও বিপরীত হয়। কাজেই চারিটি খাড়াতলে চাপগুলি পরস্পরকে প্রশমিত (neutralise) করে। চারিটি খাড়াতলে মোট লব্ধি (resultant) চাপ শূন্য হয়। কঠিন পদার্থের উপর ইহাদের চাপফল কিছুই থাকে না। কঠিনের কেবল উপর ও নীচের তলে চাপের তারতম্য হয় কারণ উপর ও নীচের তল বিভিন্ন গভীরতায় অবস্থিত বলিয়া ইহাদের উপর চাপগুলি বিপরীতমুখী হইলেও সমান হয় না। মনে কর AB ও CD তলদ্বয়ের ক্ষেত্রফল $=a$, জলের উপরতল হইতে কঠিনের AB উপরতলের ও CD নীচের তলের দূরত্ব যথাক্রমে h ও h', কঠিনের বাহু $=l=h'-h$, তরলের ঘনত্ব $=\rho$ $\therefore$ AB

৪৩নং চিত্র

উপরতলে তরলের মোট নিম্নচাপ $= h$, তরলস্তম্ভের ওজন $=$ তরলস্তম্ভের ভর $\times g =$ তরলের আয়তন $\times$ ঘনত্ব $\times g = a \times h \times \rho \times g$.

এইরূপে CD নিম্নতলে মোট উর্ধ্বচাপ $= ah'\rho g$.

এখানে $h' > h$ $\therefore$ কঠিনের উপর উর্ধ্বচাপ বেশী হইবে।

অতএব কঠিনের ছয়টি তলে মোট লব্ধি চাপফল

$$= a(h'-h)\rho g = al\rho g \text{ উর্ধ্বচাপ}$$

আবার কঠিনের আয়তন $= a \times l$. $\therefore$ $al\rho g =$ কঠিনের আয়তনের সমান তরলের ওজন।

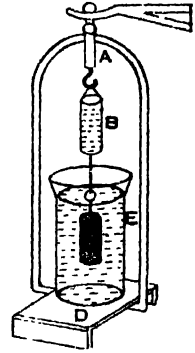
$\therefore$ নিমজ্জিত কঠিনের উপর লব্ধি উর্ধ্বচাপ $=$ কঠিনের আয়তনের সমান তরলের ওজন। এই লব্ধি উর্ধ্বচাপ অপসারিত জলের ভারকেন্দ্রের (centre of buoyancy) মধ্য দিয়া কঠিন পদার্থকে উর্ধ্বদিকে ঠেলিয়া দিবে।

এই লব্ধি উর্ধ্বচাপকে **প্লাবিতা** (Buoyancy) বলে।

১৩৬। **ওজনের আপাত হ্রাস :** নিমজ্জিত পদার্থের ওজন পদার্থের ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া লম্বভাবে নিম্নদিকে ক্রিয়া করে এবং তরল পদার্থের লব্ধি উর্ধ্বচাপ অপসারিত জলের ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া লম্বভাবে উর্ধ্বদিকে ক্রিয়া করে। সেইজন্য কোন কঠিন পদার্থকে তরলে ডুবাইলে ইহার ওজন হইতে সমায়তন অপসারিত তরল পদার্থের ওজন কমিয়া যায়। এই কারণে কোন ভারী পাথর জলে ডুবাইলে তাহার ওজন কমিয়া যায়। বায়ুতে উর্ধ্বচাপ থাকে বটে কিন্তু উহা খুব নগণ্য সেইজন্য বাতাস অপেক্ষা জলে কোন ভারী পাথর তোলা সহজ। মনে রাখিবে কঠিনের ওজনের প্রকৃত কোন হ্রাস হয় না।

১৩৭। **আর্কিমিদিস সূত্র :** কোন কঠিন পদার্থ আংশিক বা সম্পূর্ণরূপে তরল পদার্থে নিমজ্জিত করিলে ইহা নিমজ্জিত অংশের সমান আয়তনের তরল অপসারিত করিবে এবং ইহার ওজন হইতে অপসারিত তরলের ওজন কমিয়া যাইবে—এই নিয়মগুলিকে **আর্কিমিদিস সূত্র** বলে। রাজা হায়রোর (Hiero) একটি স্বর্ণ মুকুটে স্বর্ণের বিশুদ্ধতা গবেষণা করিবার সময় তিনি এই সূত্র আবিষ্কার করেন।

১৩৮। **আর্কিমিদিস সূত্র পরীক্ষা** (Experimental Verification): উদস্থৈতিক তুলা (Hydrostatic Balance) দ্বারা এই সূত্র পরীক্ষা করা হয়। কোন কঠিন পদার্থকে ইচ্ছামত বায়ুতে ও তরলে ওজন করিবার তুলাকে **উদস্থৈতিক তুলা** বলে। এই তুলা দুই প্রকারে করা যায়: (ক) সাধারণ তুলার একটি পাল্লার নীচে আংটা লাগান থাকে। এই পাল্লা অপর পাল্লা অপেক্ষা ছোট তার দিয়া ঝুলান থাকে কিন্তু দুই পাল্লা ওজনে সমান। (খ) সাধারণ তুলার একটি পাল্লার উপর দিয়া আল্‌গাভাবে একটি কাঠের সেতু তুলাপীঠে বসান হয়। সেতুর উপর জলপূর্ণ পাত্র রাখা হয়। কঠিন পদার্থকে তুলার দাড়ির প্রান্তে সুতা দিয়া ঝুলাইয়া জলের মধ্যে ডুবাইয়া ওজন করা হয়।

৪৪নং চিত্রে তুলাদণ্ডের A আংটা হইতে B ফাঁপা চোঙ এবং B ফাঁপা চোঙের নীচের আংটা হইতে C নীরেট চোঙ ঝুলান হইয়াছে। B চোঙের মধ্যে C চোঙটি ঠিক আঁটিয়া বসে অর্থাৎ B চোঙের ভিতরকার আয়তন C চোঙের আয়তনের সমান। D সেতু বামদিকের পাল্লার উপর আল্‌গা ভাবে বসান আছে। সেতুর উপর একটি খালি পাত্র E আছে।

৪৪নং চিত্র

C চোঙকে খালি পাত্রে আল্‌গাভাবে ঝুলাইয়া রাখ। দুইটি চোঙের ওজন লও। E পাত্রে জল ঢাল যাহাতে C চোঙ জলে সম্পূর্ণরূপে ডুবিয়া যায়। জলের ঊর্ধ্বচাপ C চোঙের নীচে ঠেলা দিবে। উহার ওজন কমিবে। বাম দিকের পাল্লা উঠিবে, ডান দিকের পাল্লা নামিবে। এখন তুলাদণ্ডের গতি বন্ধ করিয়া ফাঁপা B চোঙ জলে সম্পূর্ণ ভর্তি কর। এখন দুই দিকের ওজন আবার সমান হইবে। ইহা হইতে প্রমাণ হয় নিমজ্জিত C চোঙের ওজনের হ্রাস = C চোঙের সমান আয়তনের জলের ওজন। স্প্রীংতুলার সাহায্যে এই পরীক্ষা সহজে ও শীঘ্র করা যাইতে পারে।

১৩৯। ওজনের হ্রাস প্রকৃত নয়ঃ নিমজ্জিত প্রদার্থের ওজনের প্রকৃত হ্রাস হয় না। জলপূর্ণ পাত্রটি যদি পাল্লায় রাখ তবে কোন কঠিন পদার্থ জলের ভিতরে বা বাহিরে রাখিলে পাল্লায় মোট ওজন একই হইবে।

১৪০। আর্কিমিদিস সূত্রের কার্যকারিতাঃ—(ক) কঠিন পদার্থের আয়তন নির্ণয়ঃ—

কঠিন পদার্থের বাতাসে ওজন $= W$ গ্রাম

" " জলে ওজন $= W^1$ গ্রাম

$\therefore$ ওজনের হ্রাস = সমান আয়তন জলের ওজন $= W - W^1$ গ্রাম

(১৩ অনুচ্ছেদে (খ) দেখ)

যদি জলের ঘনাঙ্ক প্রতি ঘন সেঃ মিঃ (c.c.) ρ হয় তবে

অপসৃত জলের আয়তন $= \frac{W - W^1}{\rho}$ ঘঃ সেঃ মিঃ = পদার্থের আয়তন।

জলের ঘনাঙ্ক = ৬২.৫ পাঃ প্রতি ঘঃ ফুটে

$\therefore$ পদার্থের আয়তন $= \frac{W - W^1}{৬২.৫}$ ঘন ফুট।

পদার্থটি জলে অদ্রাব্য ও জল হইতে ভারী হইলে এই নিয়ম খাটে।

(খ) **ঘনাঙ্ক নিরূপণঃ** পদার্থের ঘনাঙ্ক = ভর ÷ আয়তন

$$= W \div \frac{W - W^1}{\rho} = \frac{W.\rho}{W - W^1}.$$

(গ) **ধাতুর বিশুদ্ধতা নির্ণয়ঃ** মনে কর একটি সোণার মুকুটে খাদ আছে কিনা জানিতে হইবে। মনে কর সোণার মুকুটের বাতাসে ওজন $= W$ গ্রাম, জলে ওজন $= W_1$ গ্রাম $\therefore$ অপসৃত জলের ওজন $= (W - W_1)$ গ্রাম। $\therefore$ অপসৃত জলের আয়তন $= (W - W_1)$ ঘঃ সেঃ মিঃ। $\therefore$ মুকুটের আয়তন $= W - W_1$ ঘঃ সেঃ মিঃ $\therefore$ মুকুটের ঘনাঙ্ক $= \frac{W}{V} = \frac{W}{W - W_1}$ গ্রাম প্রতি ঘন সেঃ মিঃ।

যদি এই ঘনাঙ্ক ও বিশুদ্ধ সোণার ঘনাঙ্ক এক হয় তবে মুকুটে খাদ নাই বুঝিতে হইবে।

১৪১। **ভাসন ও নিমজ্জনের সর্ত (Conditions of Floatation and Sinking):** মনে কর নিমজ্জিত কঠিন পদার্থের ওজন W পদার্থকে লম্বভাবে নীচের দিকে টানে। তরলের উর্ধ্বচাপ W_1 পদার্থকে লম্বভাবে উপরের দিকে ঠেলিয়া দেয়। W ও W_1 এর তারতম্যের উপর পদার্থের তিনটি অবস্থা হইতে পারে, যথা :—

(ক) যদি $W > W_1$ হয় অর্থাৎ যদি পদার্থের ওজন তরলের উর্ধ্বচাপ হইতে বেশী হয় তবে পদার্থ তরলের তলায় চলিয়া যাইবে। এখানে পদার্থের ওজন (ρv) সমায়তন তরলের ওজন ($\rho_1 v$) অপেক্ষা বেশী অর্থাৎ পদার্থের ঘনাঙ্ক ρ বেশী। লোহা, কাচ, ইট সমায়তন জল অপেক্ষা ভারী বলিয়া জলে ডুবিয়া যায়।

(খ) যদি $W = W_1$ হয় অর্থাৎ পদার্থের ওজন ও তরলের উর্ধ্বচাপ সমান হয় তবে তরলের মধ্যে পদার্থ সম্পূর্ণরূপে নিমজ্জিত হইয়া যে কোন স্থানে ভাসিবে। এখানে পদার্থের ও তরলের ঘনাঙ্ক সমান। সমপরিমাণ জল ও কোহলের মিশ্রণে এক ফোঁটা তেল যে কোন স্থানে ভাসে।

(গ) যদি $W < W_1$ হয় অর্থাৎ পদার্থের ওজনের চেয়ে উর্ধ্বচাপ বেশী হয় তবে উহার খানিকটা তরলের উপর থাকিবে খানিকটা তরলের মধ্যে থাকিবে। এই অবস্থাকে পদার্থের তরলে **ভাসন** (Floatatior) বলা হয়। কর্ক, কাগজ, কাঠ, মোম জলে ভাসে। প্রথমে পদার্থের ওজনের চেয়ে অপসৃত তরলের উর্ধ্বচাপ বেশী হয়, পদার্থটি উপরের দিকে উঠিতে থাকে। উহা যতই তরলের বাহিরে আসিতে থাকে অপসৃত তরলের পরিমাণ ততই কমিতে থাকে সুতরাং W_1 কমিতে থাকে যতক্ষণ পদার্থের ওজন W ও উর্ধ্বচাপ W_1 সমান না হয়। তখন ইহা তরলে স্থির হইয়া ভাসিতে থাকে। অতএব **প্লাবিতার নিয়ম** (Laws of Buoyancy) হইল যে : (ক) ভাসমান পদার্থ নিজ **ওজনের** সমান ওজনের তরল অপসারিত করিবে কিন্তু পদার্থের আয়তন ও অপসৃত তরলের আয়তন সমান হয় না। আর্কিমিদিস সূত্রানুসারে ভাসমানপদার্থ তরলে ওজন শূন্য হয়। মনে কর কঠিন পদার্থের ঘনাঙ্ক ও আয়তন $= \rho_2$, V। পদার্থের নিমজ্জিত অংশের দ্বারা অপসৃত তরলের আয়তন ও ঘনাঙ্ক $= v$ ও ρ_1.

$$\therefore\ p_1 v = p_2 V \text{ বা } \frac{v}{V} = \frac{p_2}{p_1}$$

$$\text{বা } \frac{\text{নিমজ্জিত অংশের আয়তন}}{\text{কঠিনের মোট আয়তন}} = \frac{\text{কঠিনের ঘনাঙ্ক}}{\text{তরলের ঘনাঙ্ক}} \cdots (৫৭)$$

(খ) সুস্থিত সাম্য অবস্থায় পদার্থের ভারকেন্দ্র ও অপসৃত তরলের প্লাবকেন্দ্র একই লম্বরেখায় থাকিবে। সাধারণতঃ ভারকেন্দ্র প্লাবকেন্দ্রের উপরে থাকে। সম্পূর্ণ নিমজ্জিত পদার্থে উহা নীচে থাকে।

১৪২। **ভাসননীতির কার্যকারিতা ও দৃষ্টান্ত:** (ক) x গ্রাম কোন পদার্থ জলে ভাসিলে x গ্রাম জল অপসারিত করিবে। x গ্রাম জলের আয়তন x ঘঃ সেঃ মিঃ। যদি পদার্থের ঘনাঙ্ক p হয় তবে ইহার আয়তন $= \frac{x}{p}$

$\therefore$ পদার্থটির x ঘঃ সেঃ মিঃ $\div \frac{x}{p}$ ঘঃ সেঃ মিঃ বা $\frac{১}{p}$ ঘঃ সেঃ মিঃ জলে ডুবিয়া থাকিলে উহা জলে ভাসিবে।

(খ) **বরফের ভাসন:** $0°$ সেঃ উষ্ণতায় ১ ঘঃ সেঃ মিঃ জল ১·০৯ ঘঃ সেঃ মিঃ বরফ হয়। $\therefore$ ১১ আয়তন জল ১২ আয়তন বরফ হয়। অতএব বরফের ১১/১২ অংশ জলের ভিতরে থাকিলে ইহা সমান ওজনের জলকে অপসারিত করিবে।

জলে বরফ রাখিলে বরফ গলিয়া জল হইবে। বরফের সমান ওজনেরই বরফ-গলা জল হইবে কিন্তু এই জলের ওজন ও বরফ দ্বারা অপসৃত জলের ওজন এক হইবে। অতএব উহাদের আয়তনও এক হইবে। সুতরাং বরফ গলিলে জলতলের কোন পরিবর্তন হয় না।

(গ) কোন পদার্থ একটি তরলে ডুবিতে পারে অপর তরলে ভাসিতে পারে। লোহা জলে ডোবে, পারদে ভাসে। তাজা ডিম জলে ডোবে কিন্তু লবণাক্ত জলে ভাসে।

(ঘ) **লোহার জাহাজের জলে ভাসন:** জল অপেক্ষা ভারী পদার্থকে দুই উপায়ে জলে ভাসান যায়: (১) উহাকে এমন ভাবে গঠন করিতে হয় যে প্লাবিতার নিয়মানুসারে অপসৃত জলের ওজন পদার্থের নিজের ওজনের সমান হয়।

নীরেট লোহা জলে ডোবে কিন্তু লোহার ফাঁপা বল জলে ভাসে। লোহার জাহাজ এত বেশী ফাঁপা করা হয় যে ইহার সামান্য অংশ জলে ডুবিলেই মাল সমেত জাহাজের ওজন অপসৃত জলের ঊর্ধ্বচাপের সমান হয়। স্বচ্ছ জলের চেয়ে লবণাক্ত জলের ঘনাঙ্ক বেশী সেইজন্য সমুদ্রে জাহাজ বেশী মাল বহন করে। (২) ভারী পদার্থের সঙ্গে উপযুক্ত আয়তনের হাল্কা পদার্থ জুড়িয়া দিলে ভারী পদার্থ জলে ভাসে। জীবন-তরীতে (life-belt) হাল্কা বায়ুপূর্ণ থলি বা কর্কের বেষ্টনী থাকে।

দ্রষ্টব্যঃ—জাহাজের মাল বহিবার ক্ষমতাকে tonnage বলে। ইহা খালি ও মালপূর্ণ জাহাজ দ্বারা অপসৃত জলের ওজনের বিয়োগ ফলের সমান হয়।

(৬) **সাঁতার শিক্ষা**ঃ জলের চেয়ে মানুষের দেহ হাল্কা কিন্তু মাথা ভারী। সেইজন্য স্বভাবতঃ জলে মানুষের দেহ ভাসে, মাথা ডুবিয়া যায়। হস্ত-পদের পেশী সঞ্চালন দ্বারা জলের উপর মাথা তুলিয়া রাখিবার কৌশল শিক্ষাই সাঁতার শিক্ষা। লবণাক্ত সমুদ্র জলের ঘনাঙ্ক নদীর স্বাদু জলের ঘনাঙ্ক অপেক্ষা অপেক্ষা বেশী সেইজন্য সন্তরণকারীর উপর সমুদ্র জলের ঊর্ধ্বচাপ স্বাদু জলের ঊর্ধ্বচাপ অপেক্ষা বেশী। সুতরাং সমুদ্র জলে ভাসিয়া থাকা সহজ। গভীর শ্বাস গ্রহণ করিলে বায়ুভর্তি ফুসফুসের তথা দেহের আয়তন বাড়ে। দেহের এই বর্দ্ধিত আয়তন জল অপেক্ষা হাল্কা পদার্থ বায়ু দ্বারা পূর্ণ হয়। এই অবস্থায় জলে পড়িলে দেহ বেশী আয়তনের জল অপসারণ করিবে। দেহের উপর জলের ঊর্ধ্বচাপও বাড়িবে। সুতরাং এই অবস্থায় জলে ভাসা সহজ।

১৪৩। কার্টেজীয় ডুবুরী (Cartesian Diver)ঃ ইহাতে নীচে A ছিদ্রযুক্ত একটি ছোট ফাঁপা কাচের গোলক B থাকে (৪৫ চিত্র)। ছিদ্র দিয়া জল ভিতরে যাইতে বা বাহিরে আসিতে পারে। অনেক সময় গোলকের পরিবর্তে একটি ফাঁপা পুতুল ব্যবহার করা হয়। পুতুলের শেষে ছিদ্রযুক্ত একটি ফাঁপা লেজ থাকে। গোলক বা পুতুলের উপরের অংশ বায়ুপূর্ণ এবং নীচের অংশে জল থাকে। ইহাদের ওজন এমনভাবে ঠিক করা আছে যে ইহাদের জলে ছাড়িয়া দিলে খাড়াভাবে জলে ভাসে। একটি দীর্ঘ E চোঙের ¾ অংশ জলে ভর্তি করিয়া উহাতে

C পুতুল ছাড়িয়া দাও। চোঙের মুখ D রবার পাত দিয়া টানিয়া বাঁধ যাহাতে চোঙ বায়ুরুদ্ধ হয়। রবারের পাতের উপর আঙ্গুল দিয়া চাপ দিলে চোঙের ভিতরের বদ্ধ বায়ু সংকুচিত হইবে অর্থাৎ চোঙে জলের উপরিস্থিত বায়ুর চাপ বাড়িবে। এই চাপ প্যাস্কালের নিয়মানুসারে জলের মধ্য দিয়া পুতুলের ভিতরকার বায়ুর উপর ক্রিয়া করিবে। এই চাপ-বৃদ্ধির ফলে পুতুলের ভিতরকার বায়ু সংকুচিত হইবে, উহার আয়তন কমিবে। সুতরাং খানিকটা জল পুতুলে প্রবেশ করিয়া উহার ওজন বৃদ্ধি করিবে। কিন্তু পুতুলের আয়তন বদলাইবে না। সুতরাং অপসৃত জলের আয়তন ঠিক থাকিবে পুতুলের এবং উপর জলের ঊর্ধ্বচাপ অপেক্ষা ওজন বাড়িতে থাকিবে। ফলে পুতুলটি ডুবিতে আরম্ভ করিবে। রবারের উপর চাপ সরাইয়া হইলে চোঙের ভিতরের বায়ুর চাপ কমিবে, পুতুলের ভিতরকার বায়ু চাপ-হ্রাসের জন্য আয়তনে বাড়িবে, খানিকটা জল বাহির হইয়া আসিবে, উহা পুনরায় ভাসিতে থাকিবে। এইরূপে চাপের হ্রাস-বৃদ্ধি করিয়া পুতুলটিকে ইচ্ছামত জলে ডুবান বা উঠান যায়। যদি পুতুলকে এমন গভীরতায় ডুবান সম্ভব হয় যেখানে জলের নিম্নচাপ এত বেশী হয় যে রবার পাতের উপর চাপ সরাইয়া লইলেও ভিতরের বায়ু আয়তনে বাড়িবে না এবং পুতুল আর উঠিবে না। এই সামান্য যন্ত্র দিয়া ভাসন ও নিমজ্জনের সর্ত, প্যাস্কেলের চাপ সঞ্চারণের নিয়ম ও আর্কিমিদিস সূত্রের সত্যতা প্রমাণ হয়।

৪৫নং চিত্র

১৪৪। **ডুবো জাহাজ (Submarine):** কার্টেজীয় ডুবুরীর নীতিতে ডুবো জাহাজ নির্মিত হয়। ইহার ওজনের হ্রাস-বৃদ্ধি করিয়া ইহাকে ইচ্ছামত ডুবান বা ভাসান যায়। এইরূপ জাহাজের অগ্র, মধ্য ও পশ্চাৎ ভাগে কতকগুলি প্রকোষ্ঠ (ballast or tank) থাকে। প্রকোষ্ঠে একটি নির্দিষ্ট অভিমুখে জল ঢুকিবার জন্য কপাট (Valves) থাকে। বিপরীত অভিমুখে কপাট বন্ধ হইয়া যায়। প্রকোষ্ঠগুলি ইচ্ছামত বায়ুপূর্ণ বা জলপূর্ণ করা যায়। যখন প্রকোষ্ঠগুলি বায়ুপূর্ণ থাকে তখন অপসৃত জলের ওজন জাহাজের ওজনের চেয়ে কম থাকে। উহা

ভাসিয়া উঠে এবং ইহার ঠিক ততটা অংশ ডুবান থাকে যাহাতে উহা নিজের ওজনের সমান জল অপসারণ করে। দরকার হইলে প্রকোষ্ঠে জল ঢুকাইয়া জাহাজের ওজন বৃদ্ধি করা হয়। এই অবস্থায় জাহাজের ওজন অপসৃত জলের ওজনের চেয়ে বেশী হয়। ইহা ডুবিয়া যায়। আবার দরকার হইলে সংনমিত বায়ু (compressed air) দ্বারা চালিত শক্তিশালী পাম্পের সাহায্যে জল বাহির করিয়া প্রকোষ্ঠ বায়ুপূর্ণ করা হয়। জাহাজের ওজন কমে, তখন উহা পুনরায় উপরে উঠিয়া আসে। অনুভূমিক হালের (hydroplanes) সাহায্যে ইহাকে জলের ভিতর যে কোন গভীরতায় স্থির রাখা হয়। পেরিস্কোপ (Periscope) নামক যন্ত্র দিয়া জলের মধ্য লইতে জলের উপরকার সমস্ত দ্রব্য দেখা যায়।

অঙ্ক। A body of sp. gr. 2·505 is dropped on the surface of a salty lake (sp. gr. 1·025). If the depth of the lake be quarter of a mile find the time the body takes to reach the bottom. (C. U. 1941)

যদি দ্রব্যের ভর $= m$ হয় তবে দ্রব্যের আয়তন $= m/২·৫০৫ =$ অপসারিত জলের আয়তন $\therefore$ অপসারিত জলের ওজন $= m'g = \frac{m}{২৫০৫} \times ১·০২৫ \times g$

$g =$ পদার্থের উপর উর্ধ্বচাপ

দ্রব্যের ওজন $= mg$। এই ওজন দ্রব্যকে নীচের দিকে লইবার চেষ্টা করে।

$\therefore$ লব্ধি নিম্ন চাপ $= mg -$ উর্ধ্বচাপ $= mg - \left(\frac{m}{২·৫০৫} \times ১·০২৫\right) \times g$

$$= mg\left(১ - \frac{১·০২৫}{২·৫০৫}\right)$$

$= mg \times \frac{১·৪৮}{২·৫০৫} = mg \times f$ ($f =$ দ্রব্যের ত্বরণ) $\therefore f = \frac{১·৪৮}{২৫০৫}$

আমরা জানি $d = \frac{১}{২} ft^২$ ($t =$ সিকি মাইল যাইতে যে সময় লাগে)

$$\therefore t^২ = \frac{২d}{f} = \frac{২ \times (৪৪০ \times ৩) \times ২·৫০৫}{১·৪৮ \times g} = \frac{৪৪৬৮·৫৯}{g}$$

$$\therefore t = \frac{৬৬·৮}{\sqrt{g}} \text{ সেকেণ্ড।}$$

প্রশ্ন

1. State Archimedes' Principle, and show how it can be experimentally verified (C. U. 1919, '24, '25, '41, '46, '47 ; D. U. 1927, '31)

2. Describe a hydrostatic balance. (C. U. 1932)

3. Why is it easier to lift a heavy stone under water than in air (C. U. 1937-47)

4. Under what conditions do bodies float or sink in a liquid (C. U. 1927, '30)

5. Why an iron ship floats on water though iron itself is heavier bulk for bulk, than water ? (C U. 1928

Explain the floating of ice in water.

6. Why is it easier to float in sea water than in fresh water (C. U. 1931, '43) ? Why is it easier to float on water after taking a deep breath ? (C. U. 1941)

7. Describe the Cartesian Diver and explain how it acts. Do you know of any modern appliance which is based on this principle ? (C. U. 1938, '40, '43)

8. How is it possible for a submarine to disappear below the suface and to come out again ? (C. U. 1943)

আপেক্ষিক গুরুত্ব (Specific Gravity)

১৪৫। **আপেক্ষিক গুরুত্ব :** সমায়তন বিভিন্ন দ্রব্যের ওজন বিভিন্ন হয় যথা ১০ ঘন সেঃ মিঃ লোহার ওজন ১০ ঘন সেঃ মিঃ পিতলের ওজনের চেয়ে কম। একই আয়তনের একটি নির্দিষ্ট বা মান (standard) দ্রব্যের ওজনের অনুপাতে সমায়তন অন্য দ্রব্যের ওজন যত সংখ্যক গুণ ভারী বা হাল্‌কা হয় সেই সংখ্যাকে **আপেক্ষিক গুরুত্ব** বলে। কঠিন ও তরলের ক্ষেত্রে ৪° (চার ডিগ্রি) সেণ্টিগ্রেডের পরিস্রুত জলকে এবং গ্যাসের ক্ষেত্রে সাধারণ উষ্ণতায় (O°c) ও চাপে (৭৬০ মিঃ মিঃ Normal temperature and Pressure) হাইড্রোজেনকে নির্দিষ্ট বা মান দ্রব্য ধরা হয়। তাপ প্রয়োগে জলের ঘনাঙ্ক বদলায় এবং ৪° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় জলের ঘনাঙ্ক সর্বাপেক্ষা বেশী হয় সেইজন্য ৪° সেঃ উষ্ণতার জলকে নির্দিষ্ট মানদ্রব্য ধরা হয়।

সংজ্ঞানুসারে কঠিন ও তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$= \frac{\text{V আয়তন দ্রব্যের ওজন}}{\text{V আয়তন ৪° সেঃ উষ্ণতায় জলের ওজন}}$$

$$= \frac{\text{একক আয়তন দ্রব্যের ভর}}{\text{একক আয়তন ৪° সেঃ উষ্ণতায় জলের ভর}} \quad (\because \text{ওজন} = \text{ভর} \times g)$$

$$= \frac{\text{পদার্থের ঘনাঙ্ক}}{\text{৪° সেঃ উষ্ণতায় জলের ঘনাঙ্ক}} \quad (৫৮) \ (\because \text{ঘনাঙ্ক} = \text{একক আয়তনের ভর})$$

এইজন্য Specific Gravityকে আপেক্ষিক ঘনাঙ্ক (Relative Density) বলে। সোণার আপেক্ষিক গুরুত্ব ১৯ বলিলে বুঝায় যে কোনও আয়তনের সোণা সমায়তন জল অপেক্ষা ১৯ গুণ ভারী।

১৪৬। **ঘনাঙ্ক ও আপেক্ষিক গুরুত্ব** : ঘনাঙ্ক বলিলে একক আয়তনে যতটা ভর থাকে তাহাকে বোঝায়। ইহা একটি বদ্ধ রাশি অর্থাৎ ইহার মাপ সংখ্যা ও একক দ্বারা প্রকাশিত হয়। ইহাকে অনেক সময় **চরম ঘনাঙ্ক** বলে। আপেক্ষিক গুরুত্ব একই এককে প্রকাশিত দুই দ্রব্যের ঘনাঙ্কের আনুপাতিক সংখ্যা মাত্র। এই সংখ্যা সমায়তন জলের তুলনায় কোন দ্রব্য কতগুণ ভারী বা হাল্কা তাহা প্রকাশ করে। ইহা প্রকাশ করিতে কোন এককের দরকার হয় না। ইহাকে **আপেক্ষিক ঘনাঙ্কও** বলে।

আমরা দেখিয়াছি দ্রব্যের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= \frac{\text{দ্রব্যের ঘনাঙ্ক}}{\text{৪° সেঃ উষ্ণতায় জলের ঘনাঙ্ক}}$.

(ক) C. G. S প্রণালীতে জলের ঘনাঙ্ক = ১ গ্রাম-প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে,

$\therefore$ **দ্রব্যের আপেক্ষিক গুরুত্ব = দ্রব্যের ঘনাঙ্ক** $\therefore$ C.G.S প্রণালীতে আপেক্ষিক গুরুত্ব ও ঘনাঙ্ক একই সংখ্যা দ্বারা প্রকাশিত হয়।

(খ) F. P. S প্রণালীতে জলের ঘনাঙ্ক = ৬২'৪৩ পাঃ প্রতি ঘন ফুটে

$$\therefore \text{দ্রব্যের আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{দ্রব্যের ঘনাঙ্ক}}{\text{৬২'৪৩ পাঃ}}.$$

$\therefore$ F. P. S প্রণালীতে **দ্রব্যের ঘনাঙ্ক = আপেক্ষিক গুরুত্ব** × ৬২'৪৩ পাঃ প্রতি ঘন ফুটে।

আপেক্ষিক গুরুত্ব দুই প্রণালীতেই একই সংখ্যা হয়।

১৪৭। **উষ্ণতা-সংশোধন (Temperature Correction):** নির্ভুল আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির করিতে হইলে ৪° সেঃ উষ্ণতার জলে কঠিনের ওজন গ্রহণ করা উচিত কিন্তু সাধারণতঃ সাধারণ উষ্ণতার জলে কঠিনের ওজন গ্রহণ করা হয়। ইহার জন্য নিম্নলিখিত উষ্ণতা সংশোধন করিতে হয়: মনে কর জলের উষ্ণতা $= t°c$

$$\text{প্রকৃত আঃ গুরুত্ব} = \frac{\text{১ ঘন সেঃ মিঃ পদার্থের ওজন}}{\text{৪° সেঃ উষ্ণতায় ১ ঘন সেঃ মিঃ জলের ওজন}}$$

$$= \frac{\text{১ ঘন সেঃ মিঃ পদার্থের ওজন}}{t\text{° সেঃ উষ্ণতায় ১ ঘন সেঃ মিঃ জলের ওজন}}$$

$$\times \frac{t\text{°সেঃ উষ্ণতায় ১ ঘন সেঃ মিঃ জলের ওজন}}{\text{৪° সেঃ উষ্ণতায় ১ ঘন সেঃ মিঃ জলের ওজন}}$$

$=$ দৃষ্ট আঃ গুরুত্ব $\times\, t°$ সেঃ উষ্ণতায় জলের ঘনাঙ্ক। (৫৯)

দ্রষ্টব্য: নিম্নলিখিত উপায়ে আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির করিয়া প্রত্যেক ক্ষেত্রে ইহার সহিত $t°$ সেঃ উষ্ণতায় জলের ঘনাঙ্ক গুণ করিতে হইবে।

১৪৮। **আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়:** যে কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে হইলে সুবিধাজনক উপায়ে সমায়তন পদার্থের ও জলের ওজন বাহির করিতে হইবে। পদার্থ জল অপেক্ষা হাল্‌কা ও ভারী হইতে পারে, পদার্থ জলে দ্রবণীয় বা অদ্রাব্য হইতে পারে।

কঠিন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়: (ক) সাধারণ নিয়ম: তুলা যন্ত্রে পদার্থের ওজন লও। মনে কর উহার ওজন $= W$। পদার্থকে জলে ডুবাইয়া অপসৃত জলকে অন্য পাত্রে সংগ্রহ করিয়া উহা ওজন কর। মনে কর উহার ওজন $= W'$ $\therefore$ আঃ গুঃ $S = \frac{W}{W'}$

(খ) **উদস্থৈতিক তুলার দ্বারা: (১) জল অপেক্ষা ভারী ও জলে অদ্রাব্য পদার্থ:** প্রথমে পদার্থকে বায়ুতে ওজন কর। মনে কর উহার ওজন $= W$। পদার্থকে দাঁড়ি হইতে সূতা দিয়া ঝুলাইয়া জলে সম্পূর্ণরূপে ডুবাইয়া ওজন কর। মনে কর এই ওজন $= W'$

$W - W' =$ ঊর্ধ্বচাপ $=$ অপসৃত জলের ওজন $=$ সম-আয়তন জলের ওজন। ∴ আঃ গুঃ $S = \frac{W}{W - W'}$.

পূর্ব নিয়ম অনুসারে উষ্ণতা সংশোধন করিতে হইবে। সংশোধিত আঃ গুঃ $=$ দৃষ্ট আঃ গুঃ $S \times t°C$ উষ্ণতায় জলের ঘনাঙ্ক।

(২) **জল অপেক্ষা হাল্‌কা ও জলে অদ্রাব্য পদার্থঃ** পদার্থ জল অপেক্ষা হাল্‌কা বলিয়া জলে ডুবিবে না। উহার সঙ্গে একটি ভারী অদ্রাব্য পদার্থ রেশম্‌সূতা দিয়া বাঁধিতে হইবে যাহাতে হাল্‌কা পদার্থ ও ভারী পদার্থ একসঙ্গে জলে ডোবে। ভারী পদার্থকে **নিমজ্জক** (sinker) বলে।

পদার্থকে বায়ুতে ওজন কর। মনে কর উহা W। একসঙ্গে নিমজ্জককে জলে ও পদার্থকে বায়ুতে ওজন কর। মনে কর উহা W_1

পদার্থ ও নিমজ্জককে একত্রে জলে ওজন কর। মনে কর উহা W_2

∴ বায়ুতে পদার্থের ওজন—জলে পদার্থের ওজন $= W_1 - W_2 =$ জলে পদার্থের ওজনের হ্রাস $=$ পদার্থের সম আয়তন জলের ওজন,

$$\therefore \text{ আঃ গুঃ } S = \frac{W}{W_1 - W_2}$$

যদি জলের উষ্ণতা $t°c$ হয় তবে সংশোধিত আঃ গুরুত্ব $=$ দৃষ্ট আঃ গুঃ $S \times t°c$ উষ্ণতায় জলের ঘনাঙ্ক।

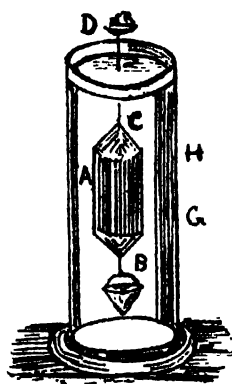
(৩) **জলে দ্রাব্য পদার্থঃ** এমন একটি তরল পদার্থ লও যাহাতে কঠিন পদার্থটি দ্রবীভূত হয় না এবং যাহা অপেক্ষা পদার্থ ভারী হয়। (ক) বা খ (১) নিয়মে এই তরল পদার্থের সম্পর্কে কঠিন পদার্থের আঃ গুঃ বাহির কর। মনে কর উহা S_1, জলের সম্পর্কে তরল পদার্থের আঃ গুঃ $= S_2$, (জলের সম্পর্কে) কঠিন পদার্থের আঃ গুঃ $= S$ তবে

$$S = \frac{V \text{ আয়তন পদার্থের ওজন}}{V \text{ আয়তন জলের ওজন}}$$

$$= \frac{V \text{ আয়তন পদার্থের ওজন}}{V \text{ আয়তন তরলের ওজন}} \times \frac{V \text{ আয়তন তরলের ওজন}}{V \text{ আয়তন জলের ওজন}}$$

= $S_1 \times S_2$ = তরলের সম্পর্কে কঠিনের আঃ গুঃ × তরলের আঃ গুঃ। তুঁতে (copper sulphate) বা ফটকিরির (alum) আঃ গুঃ কেরোসিনের সম্পর্কে বাহির করিতে হয়।

পরে বর্ণিত প্রক্রিয়া অনুসারে কেরোসিনের আঃ গুঃ বাহির করিতে পারেন।

(গ) **Hydrometer দ্বারা :** এই যন্ত্র ভাসনের নীতির উপর নির্ভর করে। অর্থাৎ যখন কোন পদার্থ তরলে ভাসে তখন পদার্থের ওজন = অপসারিত তরলের ওজন। এই যন্ত্রে এইরূপ ব্যবস্থা আছে যাহাতে ইহা খাড়াভাবে যে কোন তরলে ভাসিতে পারে। এই যন্ত্র দিয়া আঃ গুঃ বিশেষতঃ তরলের আঃ গুঃ বাহির করা হয়। এই যন্ত্র দিয়া খুব তাড়াতাড়ি ও সহজে মোটামুটি আঃ গুঃ বাহির করা যায়। নানা আকৃতির এই যন্ত্রগুলিকে দুইভাগে ভাগ করা যায়; যথা : (ক) নির্দিষ্ট-আয়তন-নিমজ্জন (Constant Immersion or Variable Weight) হাইড্রোমিটার :—এই জাতীয় যন্ত্রে হাইড্রোমিটারকে বিভিন্ন পরীক্ষাধীন তরলের মধ্যে একই গভীরতম রাখিয়া যন্ত্রের উপর বিভিন্ন ওজন রাখা হয়। ইহাতে আয়তন এক থাকে, (খ) বিভিন্ন-আয়তন-নিমজ্জন (Variable Immersion or Constant Weight) হাইড্রোমিটার। এই জাতীয় যন্ত্রে হাইড্রোমিটারকে বিভিন্ন তরলে বিভিন্ন গভীরতায় রাখা হয়। ইহাতে অপসৃত তরলের আয়তন এক থাকে না।

৪৬নং চিত্র

নিকলসন্স (Nicholson's) হাইড্রোমিটারে একটি ফাঁপা বদ্ধ ধাতব চোঙ A থাকে। চোঙের দুই প্রান্ত শঙ্কু-আকৃতির (conical)। উপর প্রান্তে একটি সরু দণ্ড (stem) Cর উপর একটি আসন (pan) D পাতা থাকে। আসনে বাটখারা চাপান হয়। চোঙের নীচের প্রান্তে অপর একটি সরু দণ্ডের নীচে একটি বালতি (bucket) F থাকে। বালতির মধ্যে পারদ বা সীসা রাখিয়া যন্ত্রটিকে ভারী করা হয়, যাহাতে ইহা তরলে খাড়াভাবে দাঁড়াইতে পারে। C দণ্ডের গায়ে × চিহ্ন কাটা থাকে। পরীক্ষার সময় আসনে

প্রয়োজনমত বাটখারা চাপাইয়া যন্ত্রটিকে সর্বদাই এই চিহ্ন পর্য্যন্ত ডুবান হয়। অর্থাৎ সর্বক্ষেত্রে সর্বদাই যন্ত্রটির নির্দিষ্ট আয়তন তরলে নিমজ্জিত করা হয় সুতরাং সর্বক্ষেত্রে যন্ত্র দ্বারা অপসৃত তরলের আয়তন একই থাকে। সেইজন্য নিকল্‌সন্স হাইড্রোমিটারকে নির্দিষ্ট-আয়তন-নিমজ্জন হাইড্রোমিটার বলে। এই হাইড্রোমিটার দিয়া নিম্নলিখিত উপায়ে কোন কঠিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির করা হয়।

(১) **জলে অদ্রাব্য ভারী পদার্থ:** যন্ত্রটিকে জলপূর্ণ দীর্ঘ ও চওড়া পাত্রে ভাসাইয়া দাও, দেখ যেন যন্ত্রটি পাত্রকে স্পর্শ না করে। D আসনে বাটখারা দিয়া যাও যতক্ষণ পর্য্যন্ত যন্ত্রটি জলে × চিহ্ন পর্য্যন্ত না ডোবে। মনে কর এই ওজন $=W$. বাটখারাগুলি সরাইয়া এমন ওজনের কঠিন পদার্থ আসনে রাখ যাহাতে চিহ্নটি জলের কিছু উপরে থাকে। পুনরায় বাটখারা দিয়া যন্ত্রটিকে চিহ্ন পর্য্যন্ত ডুবাও। মনে কর এই ওজন $=W_1$. বাটখারাগুলি আসনে রাখিয়া কঠিন পদার্থকে জলের ভিতর নীচের বালতিতে বসাও। জলের ঊর্ধ্বচাপের জন্য কঠিন পদার্থের ওজন কমিবে, যন্ত্রটি একটু উপরে উঠিবে। আসনে অতিরিক্ত বাটখারা দাও যাহাতে × চিহ্ন পর্য্যন্ত যন্ত্রটি ডোবে। মনে কর এখন মোট ওজন W_2.

কঠিনের বাতাসে ওজন $=W-W_1$

কঠিনের জলে ওজন $=W-W_2$

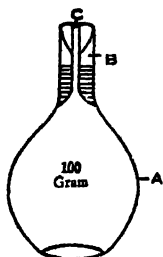
$\therefore$ অপসৃত জলের ওজন $=(W-W_1)-(W-W_2)=W_2-W_1$

$\therefore$ কঠিনের আঃ গুঃ $=\dfrac{W-W_1}{W_2-W_1}$

(২) **হাল্‌কা পদার্থ:** যদি কঠিন পদার্থ জল অপেক্ষা হাল্‌কা হয় তবে উহাকে নীচের বালতির সঙ্গে রেশম সুতা দিয়া বাঁধিয়া দিতে হইবে।

(৩) **জলে দ্রাব্য পদার্থ:** অন্য কোন তরল পদার্থে ডুবাইয়া কঠিনের আঃ গুঃ বাহির কর, মনে ইহা S_1. তরল পদার্থের আঃ গুঃ $=S_2$ $\therefore$ কঠিনের আঃ গুঃ $=S_1\times S_2$.

তরল পদার্থের আঃ গুঃ জানা না থাকিলে পরে বর্ণিত উপায়ে ইহা বাহির করা যায়।

(ঘ) **Specific Gravity বোতল দ্বারা**—যখন কঠিন পদার্থ ক্ষুদ্র কণার আকারে থাকে (যেমন বালি) তখন Sp. gr. বোতল দ্বারা আঃ গুরুত্ব বাহির করা হয়। ইহা একটি সরু গলা বিশিষ্ট কাচপাত্র A। ইহার তলদেশ চওড়া। বোতলের মুখে ঘসাকাচের ছিপি B থাকে। ছিপির ভিতর দিয়া অতি সূক্ষ্ম ছিদ্র C আছে। বোতল তরলে সম্পূর্ণ ভর্তি করিয়া ছিপি আঁটিলে অতিরিক্ত তরল ছিপির ছিদ্র দিয়া বাহির হইয়া যায়। বোতলটি তরলে সম্পূর্ণ ভর্তি থাকে। কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বোতলে একই আয়তনের তরল থাকে। আর এক প্রকার বোতলের সরু গলায় একটা দাগ কাটা থাকে। সেই দাগ পর্যন্ত সর্বদাই তরল পূর্ণ করা হয়।

৪৭নং চিত্র

ছিপি সমেত পরিষ্কার ও শুষ্ক বোতল ওজন কর। মনে কর উহা W। বোতলে গুড়া রাখিয়া ওজন কর। মনে কর উহা W_1। বোতলে গুড়া রাখিয়া বোতল জলে ভর্তি কর, ছিপি আঁট, অতিরিক্ত জল ব্লটিং কাগজ দিয়া শুষিয়া লও। বোতল নাড়িয়া বাতাসের বুদ্‌বুদ্‌ তাড়াইয়া দাও। গুড়া ও জলপূর্ণ বোতল একত্রে ওজন কর, মনে কর উহা W_2। বোতল খালি করিয়া জলে ভর্তি কর। ছিপি আঁট, দেখিবে যেন বোতলের ভিতরে কোন বাতাসের বুদ্‌বুদ্‌ না থাকে। শুধু জল সমেত বোতল ওজন কর। মনে কর উহা W_3.

$$\text{গুড়ার ওজন} = W_1 - W.$$

$$\text{অপসৃত জলের ওজন} = (W_3 - W) - (W_2 - W_1)$$

$$\therefore \text{ গুড়ার আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{W_1 - W}{(W_3 - W) - (W_2 - W_1)}$$

যদি গুড়া জলে দ্রাব্য হয় তবে এমন তরলে ডুবাইয়া আঃ গুঃ বাহির করিতে হইবে যাহাতে গুড়া গলে না। এই আপেক্ষিক গুরুত্বের ও তরলের আপেক্ষিক গুরুত্বের গুণফল গুড়ার আপেক্ষিক গুরুত্ব হইবে।

(ঙ) **ভাসন (Floatation) দ্বারা**: এই উপায়ে কোন তুলা ব্যবহার না করিয়া কোন নির্দিষ্ট আকৃতি বিশিষ্ট যথা ঘনক (cube), (চোঙ) cylinder) হাল্‌কা ও অদ্রাব্য পদার্থের আঃ গুঃ বাহির করা যায়।

মনে কর একটি কাঠ বা মোমের ঘনক দেওয়া হইল। ঘনককে জলে ভাসাও। ইহার খানিকটা জলের উপর থাকিবে ও খানিকটা নীচে থাকিবে। মনে কর ঘনকের মোট উচ্চতা h সেঃ মিঃ, ঘনকের উপরিতলের ক্ষেত্রফল $= a$ বঃ সেঃ মিঃ, ঘনকের জলের বাহিরের অংশের উচ্চতা $= l$ সেঃ মিঃ, ঘনকের আঃ গুঃ $= S$, জলের ঘনাঙ্ক $= \rho$ গ্রাম/সেঃ মিঃ^{3}

ঘনকের আঃ গুঃ $S = \frac{\text{ঘনকের ঘনাঙ্ক}}{\text{জলের ঘনাঙ্ক}}$ $\therefore$ ঘনকের ঘনাঙ্ক $= S \times \rho$.

ঘনকের ওজন = আয়তন × ঘনাঙ্ক $= h \times a \times S \times \rho$ গ্রাম

ঘনকের জলের নীচের অংশ $= h - l$. সেঃ মিঃ

$\therefore$ অপসৃত জলের আয়তন $= a \times (h - l)$. ঘঃ সেঃ মিঃ

$\therefore$ অপসৃত জলের ওজন $= a \times (h - l) \times \rho$. গ্রাম

ভাসনের সূত্রানুযায়ী ঘনকের ওজন = অপসৃত জলের ওজন

$$\therefore \; haS\rho = a \times (h - l) \times \rho$$

$$\therefore \; S = \frac{h - l}{h} = \frac{\text{জলে কঠিনের নিমজ্জিত দৈর্ঘ্য}}{\text{মোট কঠিনের দৈর্ঘ্য}}\,।$$

(চ) **বরফের ঘনাঙ্ক :** জল ও কোহলের এমন মিশ্রণ তৈয়ার কর যে বরফ উহার মধ্যে যে কোন স্থানে ভাসে। মিশ্রণের ঘনাঙ্ক = বরফের ঘনাঙ্ক। মিশ্রণের ঘনাঙ্ক হাইড্রোমিটার দিয়া বাহির করিলে বরফের ঘনাঙ্ক পাওয়া যায়। ইহা ·৯২ গ্রাম প্রতি ঘঃ সেঃ মিঃ

অঙ্ক। A hollow spherical ball has an internal diameter of 10 c m. and external diameter of 12 c.m. It is found just to float in water. Find the density of the material of the ball. (The volume V of the sphere varies as the cube of the diameter D). (C. U. 1928).

$$V = k.D^3 \text{ যেখানে } k = \text{ধ্রুবক}$$

বলের ভিতরের আয়তন $= k$ (১০)^3 = ১০০০k ঘঃ সেঃ মিঃ

" বাহিরের " $= k$. (১২)^3 = ১৭২৮k ঘঃ সেঃ মিঃ

যে পদার্থ দ্বারা বল গঠিত হয় তাহার আয়তন = (১৭২৮ − ১০০০)k

= ৭২৮k ঘঃ সেঃ মিঃ

বল যখন ঠিক জলে ভাসে তখন বলের ভর = অপসৃত জলের ভর = অপসৃত জলের আয়তন × জলের ঘনাঙ্ক = ১৭২·k × · = ১৭২৮k গ্রাম

$$\therefore \quad \text{বলের পদার্থের ঘনাঙ্ক} = \frac{\text{বলের ভর}}{\text{বলের পদার্থের আয়তন}} = \frac{১৭২৮k}{৭২৮k}$$

= ২·৩৭ গ্রাম প্রতি ঘঃ সেঃ মিঃ

১৪৯। তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ঃ ইহার জন্য কঠিনের ন্যায় তরলের বেলায়ও সম আয়তন তরল ও জলের ওজন বাহির করা দরকার। (ক) **উদস্থিতিক তুলার দ্বারাঃ** এমন একটি কঠিন পদার্থ বাছিয়া লও যাহা তরল ও জল অপেক্ষা ভারী এবং তরলে ও জলে অদ্রাব্য। এই কঠিনকে নিমজ্জক (sinker) বলে। আর্কিমিদিসের সূত্রানুযায়ী একই নিমজ্জক দুইটি তরলে ডুবাইয়া ওজন করিলে প্রত্যেক বারে ওজনের কমতি = নিমজ্জকের আয়তনের সমান অপসৃত তরলের ওজন

মনে কর নিমজ্জকের বাতাসে ওজন = W

" জলে " = W_1

" তরলে " = W_2

∴ নিমজ্জকের আয়তনের সমান তরলের ওজন = $W - W_2$

∴ " " " জলের " = $W - W_1$

$$\therefore \quad \text{তরলের আঃ গুঃ} = \frac{W - W_2}{W - W_1}$$

সাধারণতঃ কাচের ছিপিকে নিমজ্জকরূপে ব্যবহার করা হয়।

(খ) **হাইড্রোমিটার দ্বারাঃ** (১) ***নিকলসন্স হাইড্রোমিটারঃ*** (i) **প্রথম নিয়ম**—যখন আসনে বাটখারা চাপাইয়া হাইড্রোমিটার নির্দিষ্ট চিহ্ন পর্যন্ত নিমজ্জিত করিয়া কোন তরলে ভাসান হয় তখন ভাসনের নিয়মানুযায়ী হাইড্রোমিটারের ওজন + আসনের উপরকার বাটখারার ওজন = সম আয়তন অপসৃত তরলের ওজন। হাইড্রোমিরকে প্রথমে তুলায় ওজন কর। মনে কর উহা W। আসনে বাটখারা দিয়া জলের নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত যন্ত্রকে

নিমজ্জিত কর। মনে কর অতিরিক্ত বাটখারার ওজন W_1। পুনরায় আসনে বাটখারা দিয়া তরলে নির্দিষ্ট চিহ্ন পর্যন্ত যন্ত্রকে নিমজ্জিত কর। মনে ইহা W_2

$\therefore$ অপসৃত জলের ওজন $= W+W_1$

অপসৃত তরলের ওজন $= W+W_2$

ইহাদের আয়তন = যন্ত্রের দাগ পর্যন্ত আয়তন

$$\therefore \text{ তরলের আঃ গুঃ} = \frac{W+W_2}{W+W_1}$$

(ii) **দ্বিতীয় নিয়ম** (তুলা ব্যবহার না করিয়া): এমন একটি কঠিন পদার্থ বাছিয়া লও যাহা তরলে গলে না বা যাহার সহিত তরলের কোন রাসায়নিক ক্রিয়া হয় না। কঠিনকে আসনে বসাও, বাটখারা চাপাইয়া যন্ত্রকে নির্দিষ্ট চিহ্ন পর্যন্ত ডুবাও। মনে কর বাটখারার ওজন $= W_1$ কঠিনকে বালতিতে বসাও। বাটখারা চাপাইয়া যন্ত্রকে নির্দিষ্ট চিহ্ন পর্যন্ত ডুবাও। মনে কর বাটখারার ওজন $= W_2$, $\therefore$ $W_2 - W_1 =$ ওজনের হ্রাস = অপসৃত জলের ওজন = কঠিনের আয়তন ($\because$ জলের আঃ গুঃ = ১)। মনে কর তরলে উপরোক্ত প্রক্রিয়া সম্পাদন করিলে বাটখারার ওজন যথাক্রমে W_3 ও W_4।

$\therefore$ $W_4 - W_3 =$ সমায়তন তরলের ওজন।

$$\therefore \text{ তরলের আঃ গুঃ} = \frac{W_4 - W_3}{W_2 - W_1}.$$

(২) **বিভিন্ন-আয়তন-নিমজ্জন বা সাধারণ হাইড্রোমিটার দ্বারা**: এই যন্ত্রে একটি ফাঁপা দুইদিক বন্ধ কাচপাত্র থাকে। পাত্রের উপর অংশ (Stem) C দীর্ঘ ও মধ্য অংশ B খুব মোটা, নীচের অংশ A একটি কুণ্ড (bulb)। সরু অংশের ভিতরে কাগজের স্কেল S থাকে। কুণ্ডটি সীসা বা পারদ ভর্তি থাকে যাহাতে যন্ত্রটি খাড়াভাবে কোন তরলে ভাসিতে পারে। ভাসনের নিয়মানুসারে ভাসমান অবস্থায়, যন্ত্রের ওজন = অপসৃত তরলের ওজন। আমরা জানি, ভর = আয়তন × ঘনাঙ্ক। এই যন্ত্রের পরীক্ষায় বিভিন্ন তরলে যন্ত্রের ওজন বা ভর একই থাকে। সুতরাং যন্ত্রের আয়তন ঘনাঙ্কের ব্যস্তানুপাতিক হয়। বেশী তরল অপসারিত করিবার জন্য পাতলা তরলে যন্ত্রটি বেশী ডুবিবে। কম

তরল অপসারিত করিবার জন্য ভারী তরলে ইহা কম ডুবিবে। সেইজন্য স্কেলে অঙ্কগুলি নীচের দিকে বাড়ে। নিম্নলিখিত নিয়ম অনুসারে যন্ত্রকে অংশাঙ্কন করা হয়। এইরূপ অংশাঙ্কিত হাইড্রোমিটার কোন তরলে ডুবাইলে তরলের তল যেখানে স্কেল স্পর্শ করে স্কেলের সেই অঙ্ক তরলের আঃ গুঃ হয়। সাধারণতঃ জলের চেয়ে পাতলা ও ভারী তরলের জন্য বিভিন্ন যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। ১ আপেক্ষিক গুরুত্বর স্কেলে পঠন হয় ১০০০। ৭০০ স্কেল পঠন = ৭ আঃ গুঃ। প্রত্যেক যন্ত্রে '৭ হইতে ২ পর্য্যন্ত আপেক্ষিক গুরুত্ব পাওয়া যায়। বিভিন্ন তরলের আঃ গুঃ দেখিবার জন্য বিভিন্ন যন্ত্র ব্যবহৃত হয় যথা, দুধের জন্য Lactometer, মদের জন্য Alcoholimeter. চিনির জন্য Sacharometer।

৪৮নং চিত্র

দুই যন্ত্রের পার্থক্য—সাধারণ যন্ত্রে ও নিকলসন্স যন্ত্রে গঠনের পার্থক্য আছে। সাধারণ যন্ত্রে ওজন ঠিক রাখিয়া যন্ত্রটিকে কম-বেশী ডুবান হয়। নিকলসন্স যন্ত্রকে ঠিক নির্দিষ্ট দাগ পর্য্যন্ত ডুবাইয়া ওজন কম-বেশী করা হয়। সাধারণ যন্ত্রে কেবল তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব পাওয়া যায় কিন্তু নিকলসন্স যন্ত্রে তরলের এবং হালকা, ভারী, জলে দ্রবনীয় ও অদ্রবনীয় কঠিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব পাওয়া যায়।

অংশাঙ্কন করণ (Graduation of a Hydrometer): ইহা দুই দুই উপায়ে করা হয়:—(ক) যে সকল তরলের ঘনাঙ্ক বা আপেক্ষিক গুরুত্ব জানা আছে সেই রকম কতকগুলি তরলে যন্ত্রকে ডুবাইয়া প্রত্যেক ক্ষেত্রে তরলের তল দণ্ডের যেখানে স্পর্শ করে সেখানে দাগ কাটা হয়। (খ) মনে কর জলে ডুবাইলে জলের বাহিরে দণ্ডের দৈর্ঘ্য $= l_1$। মনে কর ক তরলের ঘনাঙ্ক $= d$, ক তরলে ডুবাইলে তরলের বাহিরে দণ্ডের দৈর্ঘ্য $= l_2$. মনে কর সমস্ত যন্ত্রের ভর ও আয়তন যথাক্রমে W ও v এবং দণ্ডের প্রস্থচ্ছেদ $= a$।

$$\therefore \quad W = (v - l_1 a) \times 1 = (v - l_2 a) \times d$$

$$l_1 = \frac{1}{a}(v - W) \text{ এবং } l_2 = \frac{1}{a}\left(v - \frac{W}{d}\right)$$

$\therefore l_2 - l_1 = \frac{W}{a}\left(I - \frac{1}{d}\right)$। যদি d' ঘনাঙ্কের তরলে দণ্ডের দৈর্ঘ্য $= l$ হয়

তবে $\frac{l - l_1}{l_2 - l_1} = \frac{1 - \frac{1}{d'}}{1 - \frac{1}{d}}$। d'এর বিভিন্ন মানের জন্য lএর মান বাহির করিয়া দণ্ডটি অংশাঙ্কন করা হয়।

(গ) **Sp. Gr. বোতল দ্বারা :** কাচের ছিপিসমেত পরিষ্কার শুষ্ক খালি বোতল ওজন কর। সম্পূর্ণ জলভর্তি করিয়া বোতল ওজন কর। জল ফেলিয়া বোতল শুষ্ক কর। এইবার তরলে পূর্ণ করিয়া ওজন কর।

মনে কর খালি বোতলের ওজন $= W$, বোতল ও জলের ওজন $= W_1$ বোতল ও তরলের ওজন $= W_2$

$\therefore$ বোতলভর্তি জলের ওজন $= W_1 - W$

" তরলের " $= W_2 - W$

$\therefore$ তরলের আঃ গুঃ $= \frac{W_2 - W}{W_1 - W}$.

(ঘ) **U-নল বা প্রশমনকারী তরল স্তম্ভ** (Balancing Columns) **দ্বারা :**—(১) যে তরল পরস্পর মিশে না বা যাহাদের মধ্যে কোন রাসায়নিক ক্রিয়া হয় না এমন দুইটি তরলের (যেমন পারদ ও জল) আপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির করিবার ইহা একটি সুবিধাজনক উপায়।

একটি U আকারের দুই মুখ খোলা নল ABC লও। (৪২নং চিত্র) উহাতে ভারী তরল পারদ ঢাল। পারদ নলের দুই বাহুতে একই তলে থাকিবে। AD বাহুতে হাল্‌কা তরল (জল) ঢাল। মনে কর D হইল এই বাহুতে জল ও পারদের স্পর্শতল। D হইতে অঙ্কিত অনুভূমিক রেখা অপর বাহুকে E-তে স্পর্শ করে। একই অনুভূমিক তলে তরলের চাপ সমান হয়। $\therefore$ AD জলস্তম্ভের চাপ $=$ CE পারদ স্তম্ভের চাপ। মনে কর AD $= h$, CE $= h'$, জলের ঘনাঙ্ক $= p$, তরলের ঘনাঙ্ক $= p_1$, নলের প্রস্থচ্ছেদ $= a$, বায়ুমণ্ডলের চাপ $=$ P, অভিকর্ষ জনিত ত্বরণ $= g$।

D-তে চাপ $= P + p \times a \times h \times g$, C-তে চাপ $= P + p_1 \times a \times h' \times g$.

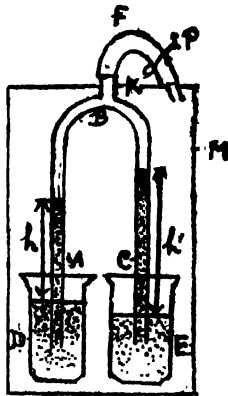
$$\therefore p \times a \times h \times g = p_1 \times a \times h' \times g$$

$$\therefore \frac{p}{p_1} = \frac{h'}{h}.$$

∴ দুই বাহুতে তরল স্তম্ভের উচ্চতা ও তরলের ঘনাঙ্ক ব্যাস্তানুপাতিক হয়। এই উপায়ে দুইটি তরলের আঃ গুঃ তুলনা করা যায় কিংবা একটার আঃ গুঃ জানা থাকিলে অপরটির বাহির করা যায়।

(২) যদি দুইটি তরল মিশিয়া যায় (যেমন কোহল ও জল) তবে তৃতীয় তরল (যেমন পারদ) যাহা দুইটির মধ্যে একটিরও সঙ্গে মিশে না এবং যাহা দুইটির অপেক্ষা ভারী হয় তাহা বাছিয়া লও। প্রথমে U নলে পারদ ঢাল। তারপর এক বাহুতে জল অপর বাহুতে কোহল ঢাল যতক্ষণ না পারদ দুই বাহুতে একই তলে আসে : দুই বাহুতে পারদের উপর চাপ সমান হয়।

$$\therefore \frac{p}{p_1} = \frac{h'}{h}.$$

(৩) **হেয়ার যন্ত্র (Hare's Apparatus) দ্বারা** :—দুইটি তরল পরস্পর মিশিলে এই যন্ত্র দিয়া খুব তাড়াতাড়ি অপেক্ষিক গুরুত্ব বাহির করা যায়। ইহাতে ওজনের হাঙ্গামা নাই, ইহাতে বেশী অঙ্ক কসিতে হয় না।

৪৯নং চিত্র।

এই যন্ত্রে U নল ABC-কে উল্টা করিয়া রাখা হয়। দুই বাহুর খোলা মুখ দুইটি পাত্র D ও Eতে ডুবান থাকে। দুই বাহুর গায়ে স্কেলের দাগ কাটা থাকে। U নলের বাঁকা অংশের মধ্যস্থলে একটি ছোট কাচনল K যোগ করা আছে এবং উহার সঙ্গে এক খণ্ড রবারের নল F ও তার মাঝে একটি ক্লীপ (clip or pinchcock) P লাগান আছে। U নলটি কাঠের ফ্রেমে (M) খাঁড়াভাবে আটকান থাকে। ক্লিপ খুলিয়া রবারের নলে মুখ লাগাইয়া কিছু বাতাস টানিলে দুই বাহুর ভিতরের বায়ুর চাপ কমিবে এবং বাহিরের বায়ুর চাপে দুইটি তরল দুই বাহুতে বিভিন্ন উচ্চতায় উঠিবে এই অবস্থায় ক্লিপ আঁটিয়া দাও। স্কেলের দাগ দেখিয়া পাত্রস্থ প্রত্যেক তরলের উপরতল হইতে দুই তরলস্তম্ভের দৈর্ঘ্য মাপ। মনে কর এক বাহুতে তরলের ঘনাঙ্ক $= p$ ও তরলস্তম্ভের দৈর্ঘ্য $= h$,

অপর বাহুতে তরলের ঘনাঙ্ক $=p_1$ ও তরলস্তম্ভের দৈর্ঘ্য $=h_1$। প্রত্যেক পাত্রে তরলের উপর চাপ = বায়ুমণ্ডলের মণ্ডলের চাপ = P। দুই বাহুর ভিতরে বায়ুর চাপ $=k$. স্থির অবস্থায় কোন তরলের অনুভূমিক তলে একই চাপ হয়,

∴ D পাত্রে তরলের উপর বায়ুর চাপ P = বাহুর ভিতরে তরল স্তম্ভের চাপ + ভিতরের বায়ুর চাপ $=hpg+k$

E পাত্রেও এইরূপ ভাবে $P=h_1p_1g+k$,

$$\therefore \quad hpg=h_1p_1g$$

$$\therefore \quad \frac{p}{p_1}=\frac{h_1}{h}.$$

h ও h_1 মাপিলেই এবং একটার ঘনাঙ্ক জানা থাকিলে অপরটার ঘনাঙ্ক বা আঃ গুঃ বাহির করা যায়।

দ্রষ্টব্যঃ (ক) পৃষ্ঠটান ও কৌশিকত্বের ফল দূর করিবার জন্য দুই বাহুর রন্ধ্র সম্ভবমত মোটা হওয়া দরকার। (খ) দুই বাহুর রন্ধ্রের ব্যাস সমান না হইলেও চলে। (গ) বাহুদ্বয় ঠিক খাড়াভাবে থাকা দরকার। (ঘ) যন্ত্রটি বায়ুনিরুদ্ধ হওয়া দরকার।

কতকগুলি সাধারণ দ্রব্যের আঃ গুঃ :—**কঠিন :** পিতল—৮·৪—৮·৭, তামা—৮·৯, লোহা—৭·৮৬, সোণা—১৯·৩, রূপা—১০·৫, কর্ক—·২২—·২৬, বালি—১·৪২, চিনি—১·৬, মোম—·৯, রবার—·৯, প্লাটিনাম—২১·৫. **তরল :** পারদ—১৩·৬, কোহল—·৭৯, গ্লিসারিণ—১·২৬, সমুদ্রজল—১·৬২, দুধ—১·০৩, কেরোসিন—·৮।

অঙ্ক : 1. A Nicholson's hydrometer sinks to a certain mark in a liquid of sp. gr. ·6 but it takes 120 grms. to sink it to the same mark in water. What is the wt. of hydrometer? (C. U. 1948).

মনে কর যন্ত্রের ওজন = W   অতিরিক্ত ওজন = W_1 = ১২০ gms.

∴ ভাসনের সূত্রানুযায়ী তরলে যন্ত্রটির ওজন = অপসারিত তরলের ওজন = W ∴ জলে যন্ত্রটির ওজন + ১২০ = অপসারিত জলের ওজন

$$\therefore \text{ আঃ গুঃ} = \cdot৬ = \frac{W}{W+১২০} \text{ বা } \cdot৬W+৭২=W$$

বা (১ − ·৬)W = ৭২ বা ·৪W = ৭২ বা W = ১৮০ গ্রাম.

2. A piece of wax of volume 22 c.c. floats in water with 2 c.c. above the surface. Find the weight and specific gravity of the wax. (C. U. 1947).

ভাসনের নিয়মানুসারে মোমের ওজন = অপসারিত জলের ওজন.

মোমের মোট আয়তন = ২২ ঘ: সে: মি:

জলে নিমজ্জিত অংশের আয়তন = ২০ ঘ: সে: মি:

∴ অপসারিত জলের আয়তন = ২০ ঘ: সে:

∴ অপসারিত জলের ওজন = ২০ গ্রাম = মোমের ওজন

∴ মোমের ঘনাঙ্ক = $\frac{\text{ওজন (= ভর)}}{\text{আয়তন}} = \frac{২০}{২২}$ = ·৯০৯ গ্রাম প্রতি ঘ: সে: মি.

∴ আপেক্ষিক গু: = ·৯০৯.

3. A piece of iron weighing 275 gms. floats in mercury (sp. gr. = 13·59) with $\frac{5}{9}$th of its volume immersed. Find the volume and specific gravity of iron.

মনে কর লোহার আয়তন = V ঘ: সে: মি:

অপসারিত পারদের আয়তন = $\frac{৫}{৯}$ V ঘ: সে: মি:

ভাসনের নিয়মানুসারে, লোহার ওজন = অপসারিত পারদের ওজন

∴ ২৭৫ = $\frac{৫}{৯}$ V × ১৩·৫৯ ∴ V = ৩৬·৪২ ঘ: সে: মি:

∴ ঘনাঙ্ক $\rho = \frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}}$ = ২৭৫ ÷ $\frac{২৭৫ \times ৯}{৫ \times ১৩·৫৯}$

= $\frac{৫ \times ১৩·৫৯}{৯}$ = ৭·৫৫ গ্রাম/ঘ: সে: মি:

∴ আ: গু: = ৭·৫৫

4. A block of wood of rectangular section and 6 cm deep floats in water. If its density is ·6 gm/cc how far below the surface is its lower face? What weight placed on the upper surface of block is needed to sink it to a depth of 5 cms. if its area is 120 sq. cms. (C. U. 1942).

মনে কর কাষ্ঠ খণ্ডের আয়তাকার উপর পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল = A বর্গ: সে: মি:

∴ উহার আয়তন = ৬ × A ঘ: সে: মি:

কাঠের ঘনাঙ্ক = ·৬ গ্রাম/ঘঃ সেঃ মিঃ

∴ কাষ্ঠ খণ্ডের ভর = আয়তন × ঘনাঙ্ক = ৬ × A × ·৬ = ৩·৬A গ্রাম

∴ ভাসমান অবস্থায় উহা নিজ ওজনের জল অপসারণ করিবে।

∴ অপসারিত জলের ওজন = ৩·৬A গ্রাম.

∴ জলের মধ্যে নিমজ্জিত অংশের আয়তন = ৩·৬A ঘঃ সেঃ মিঃ

কাষ্ঠ খণ্ডের উপর তলের ক্ষেত্রফল = A

∴ কাষ্ঠ খণ্ডের নিম্নতল জলের উপরতল হইতে ৩·৬ সেঃ মিঃ নীচে থাকিবে। উহা যখন ৫ সেঃ মিঃ ডুবিবে তখন উহা (৫ − ৩·৬) = ১·৪ সেঃ মিঃ আরও নীচে থাকিবে অর্থাৎ উহা আরও ১·৪A ঘঃ সেঃ মিঃ জল অপসারণ করিবে। উহার ওজন ১৬৮ গ্রাম, কাজেই অতিরিক্ত ওজন ১৬৮ গ্রাম চাপাইতে হইবে।

5. What should be the volume of a floating dock that would support a ship of x tons? (sp. gr. of sea water = 1·025)

ডকের আয়তন = x টন বা x × ২২৪০ পাউণ্ড ওজনের সমুদ্রজলের আয়তন
১ ঘন ফুট সমুদ্র জলের ওজন = ৬২·৫ × ১·০২৫ পাঃ

$$\text{ডকের আয়তন} = \frac{x \times ২২৪০}{৬২·৫ \times ১·০২৫} \text{ ঘঃ ফুঃ}$$

5. Calculate the quantity of pure gold in 100 gms of an alloy of gold and copper of density 16. Density of gold = 19, density of copper = 9. (D. U. 1930,32)

$$\text{মিশ্র ধাতুর আয়তন} = \frac{১০০}{১৬}, \quad \text{সোণার আয়তন} = \frac{x}{১৯}।$$

$$\text{তামার আয়তন} = \frac{১০০ - x}{৯}$$

$$\therefore \frac{১০০}{১৬} = \frac{x}{১৯} + \frac{১০০ - x}{৯} \qquad \therefore x = ৮৩·১২৫ \text{ গ্রাম.}$$

6. The apparent weight of a piece of platinum in water is 60 grams and the absolute weight of another piece of platinum twice as

big as the former is 126 gms. Determine the specific gravity of platinum. (C. U. 1924).

$$\text{আ: গু:} = \frac{W}{W - W'} \qquad W = \frac{১২৬}{২} = ৬৩ \text{ গ্রাম.}$$

$$\therefore \text{ আ: গু:} = \frac{৬৩}{৬৩ - ৬০} = ২১ \text{।}$$

7. A cylinder one metre long and one centimetre in internal diameter weights 100 gms. when empty and 150 gms. when full of a liquid. Find the sp. gr. of the liquid. (Pat. U. 1928).

তরলের আয়তন = চোঙের আয়তন $= \frac{২২}{৭} \times (\text{'}৫)^২ \times ১০০ = ৭৮\text{'}৫৭$ ঘ: সে: মি:

তরলের ঘনাঙ্ক $= \frac{\text{তরলের ওজন}}{\text{তরলের আয়তন}} = \frac{৫০}{৭৮\text{'}৫৭} = \text{'}৬৩৬$ গ্রাম. প্রতি ঘ: সে: = আপেক্ষিক গুরুত্ব।

8. A solid body floating in water has $\frac{1}{6}$ of its volume above the surface. What fraction of its volume will project if it floats in a liquid of sp. gr. 1·2. (C. U. 1938)

বস্তুটির আয়তন = V ঘন সে: মি: ∴ ইহার $\frac{৫}{৬}$ V ঘ: সে: মি: অংশ জলের নীচে থাকে। বস্তুর ওজন = অপসারিত জলের ওজন = $\frac{৫}{৬}$ V গ্রাম। মনে কর $V.x$ অংশ তরলের নীচে থাকে। অপসারিত তরলের ওজন = $Vx. \times ১\text{'}২.$ = বস্তুর ওজন। ∴ $V.x \times ১\text{'}২ = \frac{৫}{৬} V.$ ∴ $x = \frac{৫}{৭\text{'}২}$

$$\therefore \text{ তরলের উপরের অংশ} = ১ - \frac{৫}{৭\text{'}২} = \frac{১১}{২৬} \text{।}$$

9. 1. c.c. of lead. (sp. gr. 11·4) and 21 c.c. of wood (sp. gr. ·5) are fixed together. Show whether it will float or sink in water. (C. U. 1933).

সীসার ওজন $= ১ \times ১১\text{'}৪ = ১১\text{'}৪$ গ্রাম, কাঠের ওজন $= ২১ \times \text{'}৫ = ১০\text{'}৫$ গ্রাম.

∴ মোট ওজন $= ১১\text{'}৪ + ১০\text{'}৫ = ২১\text{'}৯$ গ্রাম.

মোট আয়তন $= ১ + ২১ = ২২$ ঘ: সে: মি:

উহাদের জলে ডুবাইলে অপসারিত জলের ওজন ২২ গ্রাম হইবে। অপসারিত জলের ওজন বস্তুদ্বয়ের ওজনের বেশী বলিয়া উহারা ভাসিবে।

10. A mixture is made of 7 c.c. of a liquid of sp. gr. 1·85 and 5 c.c. of water. The sp. gr. of the mixture is found to be 1·615. Determine the amount of contraction. (C. U. 1927).

৭ ঘঃ সেঃ মিঃ তরলের ওজন = ৭ × ১·৮৫ = ১২·৯৫ গ্রাম.

৫ ঘঃ সেঃ মিঃ জলের ওজন = ৫ × ১ = ৫ গ্রাম.

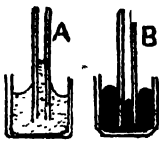
মিশ্রণের ওজন = ১৭·৯৫ ∴ মিশ্রণের আয়তন = $\frac{১৭·৯৫}{১·৬১৫}$ = ১১·১১ ঘঃ সেঃ মিঃ

সংকোচনের পরিমাণ ১২ − ১১·১১ = ·৮৯ ঘঃ সেঃ মিঃ।

11. A silver ornament is suspected to be hollow. Its weight is 288·75 gms. and it can displace 30 c.c. of water. Sp. gr. of silver being 10·5 find the volume of cavity.

গহনার প্রকৃত আয়তন = ২৮৮·৭৫ ÷ ১০·৫ = ২৭·৫ ঘঃ সেঃ মিঃ। গহনার বাহিরের আয়তন = ৩০ ঘঃ সেঃ মিঃ ∴ ভিতরকার ফাঁপার আয়তন = ৩০ − ২৭·৫ = ২·৫ ঘঃ সেঃ মিঃ।

১৫০। **তরলে আণবিক গতি** (Molecular Motion in Liquid): নিম্নলিখিত ঘটনাগুলি তরলে আণবিক গতির প্রমাণঃ (১) **বাষ্পীভবন**: গতীশীল অণুগুলি সর্বদাই পরস্পর ধাক্কাধাক্কি করে। ইহাতে তরলের উপরতলের কাছাকাছি কতকগুলি অণু অধিক বেগ প্রাপ্ত হইয়া নিকটবর্তি অণুর আকর্ষণ গণ্ডীর বাহিরে চলিয়া যায়। তাপ-বৃদ্ধির সঙ্গে অণুগুলির বেগ বৃদ্ধি হয় সুতরাং বাষ্পীভবনও বৃদ্ধি পায়। (২) **তরলের বিস্তৃতি**—তাপ-বৃদ্ধির সঙ্গে অণুর বেগ বৃদ্ধি হওয়ায় তরল আয়তনে বাড়ে। (৩) **ব্যাপন** (Diffusion): কোন পাত্রে তুঁতের ঘন দ্রব্য (strong solution) রাখিয়া পাত্রের গা বহিয়া অতি ধীরে ধীরে জল ঢালিলে দুইটি তরল দুইটি পৃথক স্তর গঠন করিবে। কিছুক্ষণ পাত্রটিকে স্থির রাখিলে দেখিবে আণবিক গতির জন্য তুঁতের নীল অণু অভিকর্ষের বিরুদ্ধে উপরের জলের স্তরে যাইবে এবং জলের অণু নীচের নীল স্তরে যাইবে যতক্ষণ না সমস্ত তরলের সমান রং হয়। (৪) **অসমসিস্** (Osmosis): যদি দুইটি তরলের মাঝখানে সচ্ছিদ্র প্রাচীর (যথা পার্চমেণ্ট কাগজ) রাখা হয় তবে দুই তরলেরই অণুগুলি প্রাচীরের ছিদ্রের মধ্য দিয়া বিপরীত দিকে বিভিন্ন গতিতে যাতায়াত করিবে।

১৫১। **তরলে আন্তরাণবিক বল ঃ** নিম্নলিখিত ঘটনাগুলি তরলে আন্তরাণবিক বলের অস্তিত্বের প্রমাণ ঃ—(ক) জলের উপর তলের সহিত মসৃণ কাচের বা কাষ্ঠের নিম্নতল স্পর্শ করাইলে পাতটিকে পৃথক করিতে বল প্রয়োগ করিতে হয়। পাতের নিম্নতলে যে জলের পাতলা স্তর থাকে তাহার অনুগুলিকে পরস্পরের আকর্ষণ বল হইতে বিচ্ছিন্ন করিতে এই বল প্রয়োগ করিতে হয়। এখানে কাচ ও জলের অণুগুলির মধ্যের আকর্ষণ শুধু জলের অণুগুলির পরস্পর আকর্ষণ অপেক্ষা বেশী হয়। (খ) **তলটান** (Surface Tension) ঃ তরলের মধ্যে নীচের দিকের যে কোন অণুকে চারিদিকের অণুগুলি সমান ও বিপরীত বলের দ্বারা আকর্ষণ করে। সুতরাং ঐ অণুর উপর ইহাদের লব্ধি (resultant) ফল শূন্য হয। কিন্তু জলের উপর তলে বা ইহার কাছাকাছি অণুগুলি কেবল নীচের অণুগুলি দ্বারা ভিতরের দিকে লম্বভাবে আকৃষ্ট হয়। ইহার ফলে এই অণু-গুলি তরলের ভিতরে যাইতে চেষ্টা করে এবং তরলের উপর তলটা যথাসম্ভব সংকুচিত হইতে চেষ্টা করে এবং সটান পাতলা পাতের মত ব্যবহার করে। উপরতলের একক ক্ষেত্রে এই সংকোচন বলকে **তলটান** বলে। এই গুণের জন্য অন্য কোন বলের যেমন (অভিকর্ষ বল) প্রভাব মুক্ত হইলে তরল পদার্থ যত সম্ভব সংকুচিত হয় এবং গোলকাকৃতি (spherical form) ধারণ করে। সেইজন্য বৃষ্টির বা শিশিরের ফোঁটা, সাবানের বুদ্‌বুদ্‌, পারদের ফোঁটা সব গোলাকার হয়। সম ঘনত্ব বিশিষ্ট কোহল-জলের মিশ্রণে একটু অলিভ তেল রাখিলে উহা গোলাকার ফোঁটা হইয়া ভাসিতে থাকিবে। তল টানের জন্য মাকড়সা অন্যান্য পোকা জলের উপর দিয়া না ডুবিয়া চলিতে পারে। এই গুণের জন্য একটি চর্বি-মাখান সূচ জলে ভাসে, যদিও উহা জলের চেয়ে ভারী।

৫০নং চিত্র

(খ) **কৌশিকত্ব** (Capillarity) ঃ আমরা পূর্বে বলিয়াছি যে স্থির অবস্থায় তরলের উপরতল বিভিন্ন সংযোজক পাত্রে একই অনুভূমিক তলে থাকে কিন্তু ইহার ব্যতিক্রম আছে। অতি সূক্ষ্ম ছিদ্র বিশিষ্ট কাচ নলে ও পাত্রের গায়ে তরলের উপরতল অনুভূমিক হয় না এবং জলের বাহিরে ও ভিতরে তরল এক তলে থাকে না।

যে তরল কাচের গায়ে লাগিয়া যায় (wets) (যেমন জল) সেই তরলের বাহিরের উপরতল কাচের গায়ে সামান্য উপরে উঠে এবং ভিতরের উপরতল বাহিরের উপরতল অপেক্ষা অনেকটা উপরে উঠে এবং ইহা বাহিরের দিকে অবতল (concave) হয় (চিত্রে A)। যে তরল কাচের গায়ে লাগে না (যেমন পারদ) তাহার বাহিরের উপরতল কাচের গায়ে নীচের দিকে নামে এবং ভিতর তল বাহির তল অপেক্ষা অনেকটা নামিয়া পড়ে এবং ইহা উপরদিকে উত্তল (convex) হয় (চিত্রে B)।

প্রশ্ন

1. Describe an hydrostatic balance and explain clearly the principle on which the working of the instrument is based.

2. Why in C. G. S. units the values of density and sp. gr. are the same ? (C. U. 1947)

3. Distinguish between density and specific gravity. (C. U. 1923, '30, '36, '44, '48)

4 How do you find the specific gravity of a solid lighter than water ? (C. U. 1925)

5. Describe in detail how the specific gravity of the following articles can be determined. (i) Alum (C. U. 1921, '45) (ii) of Copper Sulphate. (C. U. 1944)

6. Explain how would you determine the specific gravity of a solid by Nicholson's hydrometer. (C. U. 1942). Write notes on 'Hydrometer'. (C. U. 1943)

7. How would you determine the sp. gr. of sand ? (C. U. 1939)

8. How would you determine the sp. gr. of a liquid. (C. U. 1916, '18)

9. How do you determine the sp. gr. of paraffin block in the form of a cube ? (C. U. 1911, '21)

গ্যাসের বিশিষ্ট গুণ

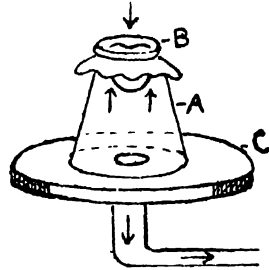
১৫২। **গ্যাসের ওজন ঃ** গ্যাস এত হাল্‌কা যে মনে হয় উহার কোন ওজন নাই। কিন্তু কঠিনের ও তরলের ন্যায় গ্যাসেরও ওজন আছে। বায়ু একটি আদর্শ গ্যাস। নিম্নলিখিত দুই পরীক্ষা বায়ুর ওজন প্রমাণ করে ঃ—

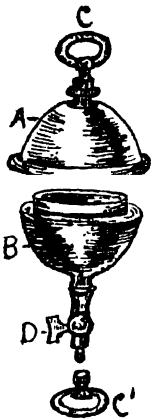
পরীক্ষা :—(ক) মুখে প্যাঁচকল বিশিষ্ট একটি কাচের গ্লোব লও। বাতাসপূর্ণ অবস্থায় সূক্ষ্ম তুলা দিয়া গ্লোবটি ওজন কর। বায়ু-নিষ্কাশক যন্ত্র দিয়া গ্লোবের বায়ু বাহির করিয়া প্যাঁচকল আটিয়া দাও। পুনরায় গ্লোবটি ওজন কর। দুই ওজনের পার্থক্য = বায়ুর ওজন। (খ) একটি ফ্লাস্কে সামান্য জল লইয়া গরম করিলে বাষ্পের সঙ্গে ফ্লাস্কের অধিকাংশ বায়ু বাহির হইয়া যাইবে। ফ্লাস্কের মুখ বন্ধ কর। ফ্লাস্ককে ঠাণ্ডা করিয়া ওজন কর। ফ্লাস্কের মুখ খুলিলে সশব্দে বায়ু ঢুকিবে। ফ্লাস্ক ওজন কর। বাড়তি ওজন = বায়ুর ওজন। ফ্লাস্কের ও গ্লোবের আয়তন জানা থাকিলে বায়ুর ঘনাঙ্ক জানা যায়।

১৫৩। **বায়ুমণ্ডলের চাপ :** (Atmoshpheric Pressure) ভূপৃষ্ঠকে বেষ্টন করিয়া প্রায় ২০০ মাইল গভীর বায়ুস্তর আছে। ইহাকে **বায়ুমণ্ডল** বলে। সকল দ্রব্যই ওজনের জন্য নীচের দ্রব্যের উপর চাপ দেয়। সুদীর্ঘ বায়ুস্তরও ওজনের জন্য নীচের ভূপৃষ্ঠস্থ সকল দ্রব্যের উপর চাপ দেয়। এই চাপের নাম **বায়ুমণ্ডলের চাপ**। যতই বায়ুস্তরের গভীরতা বাড়ে ততই উহার ওজন বাড়ে, বায়ুমণ্ডলের চাপও বড়ে, সেইজন্য ভূপৃষ্ঠে এই চাপ সর্বাপেক্ষা বেশী। প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে ইহা ১৫ পাঃ (৭॥০ সের)। আমাদের দেহের ক্ষেত্রফল প্রায় ১৬ বর্গ ফুট অতএব দেহের উপর বায়ুর মোট চাপ প্রায় সাড়ে চারি শত মণ বা ১৬ টন কিন্তু আমাদের ফুসফুসের ও রক্তের বায়ুর সঙ্গে বাহিরের বায়ুর সংযোগ থাকায় দেহের ভিতরে ও বাহিরে সর্বদিক হইতে সমান চাপ পড়ে। ইহাতে বায়ুর এই প্রচণ্ড চাপ আমরা বুঝিতে পারি নাই। ভূপৃষ্ঠস্থ বায়ু উপরের স্তরের চাপে বেশী সংকুচিত হয় বলিয়া ইহার ঘনাঙ্ক বেশী হয়। (একটি বিষয় স্মরণ রাখা দরকার যে বায়ুস্তরের সঙ্গে সংযুক্ত অন্য পাত্রের একই অনুভূমিক তলে সকল বিন্দুতে বায়ুর একই চাপ হয়।)

১৫৪। **বায়ুমণ্ডলের চাপের অস্তিত্বের প্রমাণ :** তরলের ন্যায় একই বিন্দুতে বায়ুও উর্ধে, নিম্নে ও পার্শ্বে সর্বদিকে সমান চাপ দেয়। যে কোন দিকে বায়ুর চাপ কমাইলে বিপরীত দিকের চাপের অস্তিত্ব বোঝা যায়।

(ক) **বায়ুর নিম্নচাপ ও উর্ধচাপ সমান : পরীক্ষা :** দুই মুখ খোলা শক্ত কাচ পাত্রের (A) এক মুখে রবারের পাত (sheet) B টান করিয়া বাঁধিয়া দাও।

অপর মুখে ভেসলিন লাগাইয়া বায়ুনিষ্কাশক যন্ত্রের রেকাবিতে (C-disc) বসাও। এই অবস্থায় পাতের উপরে বাহিরের বায়ুর নিম্নচাপ ও পাতের উপর ভিতরের বায়ুর উর্ধচাপ সমান হওয়ায় পাত সমতল থাকে। যন্ত্র দিয়া ভিতরের বায়ু বাহির করিলে পাতের নীচে বায়ুর উর্ধ চাপ কমিবে। পাতের উপরকার বায়ুর নিম্নচাপ পূর্বের মত থাকে। অতএব নিম্নচাপের আধিক্যর জন্য রবার পাত নীচের দিকে নামিয়া আসে। বেশী বায়ু বাহির হইলে ভিতরের চাপ খুব কমিয়া যায়। উপরকার বায়ুর নিম্নচাপ এত বাড়ে যে রবারের স্থিতিস্থাপকতা অতিক্রম করে। উহা সশব্দে ফাটিয়া যায়।

৫১নং চিত্র.

(খ) **বায়ুর উর্ধ চাপ : পরীক্ষা** একটি সম্পূর্ণ জল ভর্তি গ্লাসের মুখে সাবধানে একখণ্ড কাগজ লাগাইয়া কাগজটি বাম হাতে ধরিয়া ডান হাতে গ্লাসটির তলদেশ ধরিয়া গ্লাসটি উল্টাইয়া দাও। বাম হাত সরাইয়া লও। কাগজ পড়ে না। কেন? গ্লাসের মধ্যে শুধু জল আছে, একটুও বায়ু নাই সুতরাং কাগজের উপরে জলের নিম্ন চাপ — কাগজের তলায় বায়ুর উর্ধচাপ। উর্ধ চাপের পরিমাণ প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে ১৫ পাঃ। মোট উর্ধচাপ জলের ওজনের চেয়ে অনেক বেশী। সুতরাং বায়ুর উর্ধ চাপের জন্য কাগজ পড়ে না। কাগজ দেওয়ার জন্য জলের নিম্নতল সমতল থাকে। ইহাতে বায়ু জলের মধ্যে প্রবেশ করে না।

৫২নং চিত্র

(গ) **সর্বদিকের চাপের সমতা : পরীক্ষা : (১) ম্যাগডেবার্গ অর্ধগোলক যন্ত্র (Magdeburg Hemisphere) :** এই যন্ত্রে দুইটি ফাঁপা পিতলের অর্ধগোলক A ও B মুখে মুখে ভেসলিন দিয়া ভালভাবে জোড়া লাগান থাকে। ইহাতে যন্ত্রটি বায়ু নিরুদ্ধ হয়। দুইটি গোলকের শেষে দুইটি আংটা C ও C' থাকে। একটি অর্ধগোলকে

প্যাঁচ কল D থাকে। প্যাঁচ কলের মধ্য দিয়া বায়ু নিষ্কাশক যন্ত্রের সাহায্যে গোলকের ভিতরের বায়ু বাহির করা হয়। বায়ুপূর্ণ অবস্থায় আংটা ধরিয়া সামান্য টানিলেই ইহারা খুলিয়া যায় কারণ এই অবস্থায় বাহিরের বায়ু সর্বদিকের চাপ এবং ভিতরের বায়ুর সর্বদিকের চাপ সমান বিপরীতমুখী ও হয় বলিয়া গোলক খুলিতে কষ্ট হয় না। ভিতরের বায়ু বাহির করিলে বাহিরের বায়ু সর্বদিক হইতে গোলকের উপরে চাপ দেয়, কাজেই ইহাদিগকে খুলিতে প্রচণ্ড শক্তির দরকার হয়। Ottovan Guericke নামক বৈজ্ঞানিক ২২ ইঞ্চি ব্যাসবিশিষ্ট অর্ধগোলক ব্যবহার করিয়া ম্যাগডেবার্গ সহরে এই পরীক্ষা করেন। এক এক দিকে আটটি করিয়া ঘোড়া দিয়া অর্ধগোলক টানা হয়।

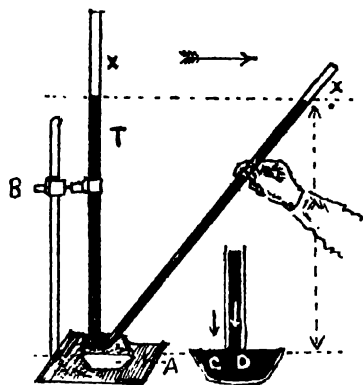
(২) পাতলা টিনের পাত্রে সামান্য জল ফোটাও, বাষ্প বায়ু বাহির করিয়া দিবে। ফুটন্ত অবস্থায় ছিপি দিয়া পাত্রের মুখ বন্ধ কর। পাত্রকে জলে ঠাণ্ডা করিলে পাত্রটি চুপসিয়া যাইবে। পাত্রে জল ঢালিলে ভিতরের বাষ্প ঘনীভূত হইয়া জল হয়। চাপ কমিয়া যায়। বাহিরের বায়ু চারিদিক হইতে পাত্রের গায়ে চাপ দেয়। উহা চুপসাইয়া যায়।

১৫৫। বায়ুশূন্য নলে তরলের উর্ধগতি: টরিসেলির পরীক্ষা: পিচকারির মুখ জলে ডুবাইয়া দণ্ডটি টানিলে জল পিচকারির ভিতর উপরে বায়ু শূন্য স্থানে উঠে। পূর্বে বায়ু শূন্য স্থানে জলের এই উর্ধগতির কারণ বলা হইত যে প্রকৃতি শূন্যতা চায় না (Nature abhors vacuum) কিন্তু যখন টাস্‌কানির রাজার বাড়ী পাম্পের সাহায্যে জলকে ৩০ ফুটের বেশী উঠান গেল না, তখন জলের উর্ধগতির প্রকৃত কারণ বাহির করিবার গবেষণা চলিতে থাকে। প্রথমে গ্যালিলিও পরে তৎশিষ্য টরিসেলি (Torricelli) এই উর্ধগতির সীমার কারণ গবেষণা করিয়া স্থির করেন যে **বায়ুর চাপই জলের উর্ধগতির কারণ**। বায়ুর চাপ ও তরলস্তম্ভের ওজন সমান হইলে নলে তরল আর উঠিবে না। ভারী তরল (পারদ) অল্প দূর, পাতলা তরল (জল) বেশী দূর উঠিবে।

১৫৬। টরিসেলির পরীক্ষা: এক মিটার বা ৩৯ ইঞ্চি দীর্ঘ এক মুখ বন্ধ মোটা কাচের নল T সম্পূর্ণরূপে বিশুদ্ধ শুষ্ক পারদে পূর্ণ কর যাহাতে নলে

একটুও বায়ু না থাকে। খোলা মুখ বুড়া-আঙ্গুল দিয়া বন্ধ কর। নলটিকে উল্টাইয়া একটি পারদপূর্ণ পাত্রের উপর খাড়াভাবে ধর যাহাতে খোলা মুখ সর্বদাই পাত্রস্থ পারদের মধ্যে থাকে। নলটিকে বন্ধনী B দিয়া আট্‌কাইয়া দাও। আঙুল সরাইয়া লইলে পারদ স্তম্ভ প্রায় ২৪ সেঃ মিঃ নামিয়া যায়। অর্থাৎ স্থির অবস্থায় পাত্রস্থ পারদের উপর তল হইতে পারদ স্তম্ভের উচ্চতা প্রায় ৭৬ সেঃ মিঃ বা ৩০ ইঞ্চি হয়। নলের পারদের উপরে জায়গা (x) বায়ুশূন্য থাকে। যদিও এই স্থানে পারদের সামান্য বাষ্প থাকে উহার চাপ সাধারণ উত্তাপে নগণ্য সেইজন্য এই স্থানকে শূন্য ধরা হয়। ইহাকে Torricellian Vacuum বলে।

৫৩নং চিত্র

কেন পারদস্তম্ভ দাঁড়াইয়া থাকে? কেন ইহা পড়িয়া যায় না? দুই মুখ খোলা নলে এরূপ দাঁড়ায় না কেন? কিসে ইহাকে ঠেলিয়া রাখে? নলের বাহিরে পাত্রস্থ পারদের উপর বায়ু মণ্ডলের চাপ পড়িতেছে। এই চাপ পারদের মধ্য দিয়া সর্বদিকে সম পরিমাণে সঞ্চারিত হয়। আবার সাম্য অবস্থায় কোন তরলের একই অনুভূমিক তলে সমান চাপ পড়ে। মনে কর বাহিরের পারদের উপর তলে অবস্থিত C বিন্দু ও নলের ভিতরের D বিন্দু একই অনুভূমিক তলে অবস্থিত। C বিন্দুতে চাপ—বায়ুমণ্ডলের চাপ। এই চাপ পারদের মধ্য দিয়া D বিন্দুতে ঊর্ধ্বমুখী ক্রিয়া করে। D বিন্দুতে পারদ স্তম্ভের নিম্নমুখী চাপ—৭৬ সেঃ মিঃ পারদ স্তম্ভের ওজন। সাম্য অবস্থায় এই দুই চাপ সমান হয়। পারদ-স্তম্ভ নিজের ভারের জন্য নীচে নামিতে চেষ্টা করে কিন্তু বায়ুমণ্ডলের চাপ পারদের মধ্য দিয়া ঊর্ধ্বগামী হইয়া পারদস্তম্ভকে উপরের দিকে ঠেলিয়া রাখিতেছে। **অতএব বায়ুমণ্ডলের চাপ = এক বর্গ ক্ষেত্রের (বঃ সেঃ মিঃ) উপর**

দণ্ডায়মান ৭৬ সেঃ মিঃ পারদ-স্তম্ভের ওজন $= h \times \rho \times g \times a$ ($h = $ ৭৬ সেঃ মিঃ, $\rho =$ পারদের ঘনাঙ্ক, $g =$ অভিকর্ষজাত ত্বরণ, $a =$ ১ বর্গ সেঃ মিঃ)। পারদের বদলে জল হইলে জল-স্তম্ভের উচ্চতা ৩৭ ফুট (প্রায়)।

নিম্নলিখিত পরীক্ষাগুলি প্রমাণ করে যে বায়ুমণ্ডলের চাপ পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা দিয়া মাপা যায় :—

(ক) বায়ুমণ্ডলের চাপ পারদ-স্তম্ভের খাড়া (vertical) উচ্চতার উপর নির্ভর করে। সুতরাং নলটিকে কাত করিলে পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য বাড়িয়া যায় কিন্তু প্রত্যেক বারে পাত্রস্থ পারদের উপর হইতে পারদস্তম্ভের খাড়া উচ্চতা একই থাকে। যদি নলকে এত বেশী কাত করা যায় যে পারদস্তম্ভের খাড়া উচ্চতা ৩০ ইঞ্চির কম হয় তবে এ অবস্থায় যদি নলে ভুলক্রমে বায়ু ঢুকিয়া থাকে তবে নলটি সম্পূর্ণ পারদে ভরিয়া যাইবে না। সামান্য অংশ খালি থাকিবে।

(খ) নলের বদ্ধ মুখে ছিদ্র করিলে পারদস্তম্ভের উপর। বাহিরের বায়ুর চাপ পড়িবে। পারদস্তম্ভ নিজের ভারের জন্য নামিয়া যাইবে।

(গ) বায়ুমণ্ডলের চাপ বাড়িলে বা কমিলে পারদস্তম্ভের উচ্চতা বাড়ে বা কমে। পাত্রটি বায়ু নিষ্কাশক যন্ত্রের আসনের উপর রাখ। নলটি যন্ত্রের মাথায় রবার ছিপির মধ্য দিয়া বাহির কর। বায়ু অপসারিত করিলে বাহিরের পারদের উপর চাপ কমিবে এবং পারদস্তম্ভের উচ্চতা কমিবে।

(ঘ) নলটিকে পাত্রস্থ পারদে বেশী ডুবাইলে টরিসেলি শূন্যস্থান কমিবে কিন্তু বাহির তল হইতে পারদস্তম্ভের উচ্চতা একই থাকে। (ঙ) পর্বতে উঠিলে বায়ুমণ্ডলের চাপ কমে কাজেই পারদস্তম্ভের উচ্চতা কমে।

১৫৭। **বায়ুমণ্ডলের চাপের পরিমাণ:** বায়ুর চাপ $= h \times a \times \rho \times g$; এখানে $h =$ ৭৬ সেঃ মিঃ কিংবা ৩০ ইঞ্চি, $a =$ ১ বর্গ সেঃ মিঃ বা ১ বর্গ ইঞ্চি, $\rho =$ পারদের ঘনাঙ্ক $=$ ১৩.৬, $g =$ ৯৮১ ডাইন।

C. G. S. প্রণালীতে প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে বায়ুমণ্ডলের চাপ $=$ ৭৬ $\times$ ১ ঘঃ সেঃ মিঃ পারদের ওজন $=$ ৭৬ $\times$ ১৩.৬ $\times$ ৯৮১ ডাইন

$=$ ১০১৩৯৬১ ডাইন প্রতি বর্গ সেঃ মিঃ।...(৬০)

ইহাকে O°C ও ৪৫° অক্ষাংশে সংশোধন করিলে ইহার মান

= ১·০১৩২৩১ × ১০⁶ ডাইন = ১০⁶ ডাইন প্রতি বর্গ সেঃ মিঃ

ইহাকে বায়ুর সাধারণ চাপ (Normal Atmospheric Pressure) বলে।

F. P. S প্রণালীতে এক বর্গ ইঞ্চিতে বায়ুমণ্ডলের চাপ = ৩০ ঘন ইঞ্চি পারদের ওজন = ৩০ × ১৩·৬ × $\frac{৬২·৫}{১৭২৮}$ ...(৬১)

= ১৪·৭৫ (প্রায় ১৫) পাউণ্ডের ওজন = ১৪·৭৫ × ৩২

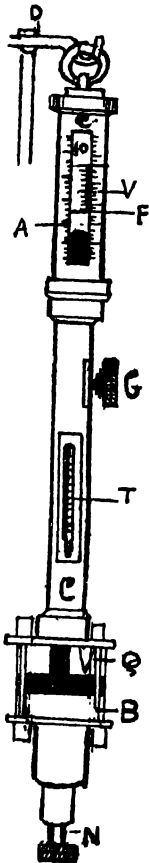
= ৪৭২ পাউণ্ডাল প্রতি বর্গ ইঞ্চি

(এক ঘন ইঞ্চি জলের ওজন = $\frac{৬২·৫}{১৭২৮}$ পাঃ)

১৫৮। ব্যারোমিটারের নলের ব্যাস : ব্যারোমিটারের নলের ব্যাসের হ্রাস-বৃদ্ধিতে বায়ুর চাপের কোন তারতম্য হয় না। যদি জলের প্রস্থচ্ছেদ aকে দ্বিগুণ করা যায় তবে বায়ুমণ্ডলের উর্ধ্বচাপ নলের দ্বিগুণ প্রস্থচ্ছেদের উপর ক্রিয়া করিয়া ২ $a \times h \times \rho \times g$ পারদস্তম্ভকে ঠেলিয়া রাখিবে।

১৫৮ (ক) বায়ুমণ্ডলের বিস্তৃতি : গ্যাসের অণুগুলি সর্বদাই দূরে যাইতে চেষ্টা করে তাতে মনে হয় পৃথিবীর চারিদিকে বায়ু অসীমে ছড়াইয়া পড়িয়াছে কিন্তু কিছু দূরে কয়েকটি কারণে এই প্রসারণশীলতা পৃথিবীর আকর্ষণ দ্বারা প্রশমিত হয়। সেইজন্য বায়ুমণ্ডলের বিস্তৃতি সীমাবদ্ধ কিন্তু এই বিস্তৃতির সীমা কতদূর তাহা সঠিক জানা নাই। স্বয়ং চালিত বেলুন ২১ মাইল পর্যন্ত উঠিয়াছে। উড়ো জাহাজে ১০·৮ মাইল পর্যন্ত উঠিয়াছে। বায়ুর ঘনাঙ্ক ক্রমশঃ উপরের দিকে কমিয়া যায় সেইজন্য বায়ুর বিস্তৃতি গণনা করা যায় না। বায়ুর সর্বত্র ঘনাঙ্ক ·০০১২৯৩ গ্রাম/ঘঃ সেঃ মিঃ ধরিলে বায়ু স্তরের গভীরতা হইবে $\frac{৭৬ \times ১৩·৫৯৬}{·০০১২৯৩}$ = ৪·৯৭ মাঃ। কিছুদূর পর্যন্ত প্রতি কিলোমিটার উচ্চতার জন্য ৫°C উষ্ণতা কমে। এভারেষ্ট শিখরে (২৯০০০') – ২৭° ফাঃ উষ্ণতা।

১৫৮ খ। উর্ধ্বে আরোহণের অসুবিধা : উপরে যতই উঠা যায় বায়ুর ঘনাঙ্ক, চাপ ও উষ্ণতা তত কমে। ঘনাঙ্কের হ্রাসের জন্য নিঃশ্বাসপ্রশ্বাসের অসুবিধা হয়। দেহের বাহিরের বায়ুর নিম্ন চাপের জন্য মুখ নাক দিয়া রক্ত বাহির হয়। উষ্ণতা এত হ্রাস পায় যে মানুষ শীতে জমিয়া যায়।

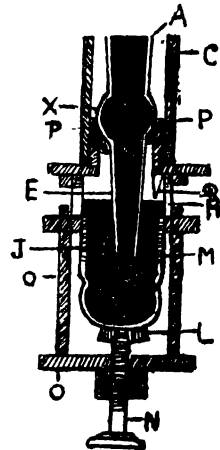
১৫৯। **বায়ু চাপমান যন্ত্র** (Barometer) : যে যন্ত্র দিয়া বায়ুমণ্ডলের চাপ মাপা যায় তাহাকে **ব্যারোমিটার** বলা হয়। পারদ-ব্যারোমিটার দুই প্রকার হয় যথা আধার (Cistern) ব্যারোমিটার, সাইফন (Siphon), ব্যারোমিটার। Aneroid ব্যারোমিটারে কোন তরল পদার্থ ব্যবহৃত হয় না।

৫৪নং চিত্র

আধার-ব্যারোমিটার : Toricelli নলের মত পারদপূর্ণ একটি নল কোন আধারের পারদের উপর খাড়াভাবে উল্টাইয়া রাখিলে মোটামুটি একটা আধার-ব্যারোমিটার পাওয়া যায়। কিন্তু ইহাতে একটা বড় রকমের অসুবিধা আছে। বায়ুচাপ বাড়িলে আধার হইতে নলে পারদ ঢোকে এবং কমিলে পারদ নল হইতে আধারে আসে, পারদস্তম্ভের উচ্চতা বাড়ে বা কমে এবং সঙ্গে সঙ্গে আধারে পারদের উপরতল নামে বা উঠে। সেইজন্য উচ্চতা মাপিবার স্কেলের শূন্য চিহ্ন ও আধারস্থ পারদের তল এক সমতলে থাকে না। Fortin's ব্যারোমিটারের আধারের বিশেষ ব্যবস্থার দ্বারা এই অসুবিধা দূর করা হয়।

Fortin's ব্যারোমিটার—ইহা সুবিধাজনক ও নিখুঁত আধার-ব্যারোমিটার। ইহাতে নিম্নলিখিত অংশগুলি থাকে : (ক) **কাচনল**—একটি এক মুখ খোলা এক মিটার দীর্ঘ পুরু কাচনল A ইহার প্রধান অংশ। ইহাকে বিশুদ্ধ, শুষ্ক ও বায়ুমুক্ত পারদে ভর্তি করিয়া একটি বিশিষ্ট-গঠনের B পারদ আধারে (Cistern বা reservoir) উল্টাইয়া রাখা হয়। নলের উপরের অংশ বায়ুশূন্য থাকে। সমস্ত নলটি একটি দীর্ঘ পিতলের C নলের মধ্যে খাড়াভাবে বসান থাকে যাহাতে নলটি ভাঙ্গিয়া না যায়। পিতলের নলটি কাঠের D ফ্রেমে আট্কান থাকে। পারদের তল-টান এড়াইবার জন্য নলের উপরের অংশ A মোটা হয়, নলের নীচের অংশ E খুব সরু। (খ) **স্কেল**—পিতলের নলের উপর গায়ে লম্বালম্বিভাবে প্রায়

২০ সেঃ দীর্ঘ ও আধ ইঞ্চি চওড়া দুইটি পরস্পর বিপরীত কাটা অংশ F (Slit) থাকে। কাটা-অংশের মধ্য দিয়া পারদের উপরতল দেখিতে পাওয়া যায়। সম্মুখের কাটা অংশের দুই পাশে পিতলের নলের গায়ে দুইটি স্কেল দাগ কাটা থাকে। একটি স্কেল ইঞ্চিতে অপরটি সেন্টিমিটারে দাগ কাটা থাকে। স্কেলে ২৭ হইতে ৩২ ইঞ্চি এবং ৬৯ সেঃ হইতে ৮৩ সেঃ পর্যন্ত দাগ কাটা থাকে। বায়ুর চাপ সাধারণতঃ এই দুই সীমার মধ্যে থাকে। একটি স্ক্রু G ঘুরাইয়া একটি পিতলের ভার্ণিয়ার স্কেল V সম্মুখের কাটা অংশের দুই পাশ ঘেষিয়া উঠান বা নামান হয়। ইহাতে অতি সূক্ষ্ম মাপ ('০০২ ইঞ্চি পর্যন্ত) পাওয়া যায়। তাপে বায়ুর চাপ বদলায়। এই কারণে বায়ুর উষ্ণতা দেখিবার জন্য পিতলের নলের নীচের দিকে একটি থার্মমিটার T থাকে। (গ) **আধার**—ইহাতে তিনটি অংশ পর পর জোড়া থাকে—উপরে কাচের চোঙ H যাহার ভিতর দিয়া পারদের উপরতল দেখা যায়, মধ্যে কাঠের চোঙ J, তলায় চামড়ার থলি, থলির নীচের অংশে এক টুকরা কাঠ L সংলগ্ন আছে। কাঠের গায়ে একটি স্ক্রুর N-এর এক প্রান্ত লাগান থাকে। স্ক্রু ঘুরাইযা থলির আযতনের হ্রাস-বৃদ্ধি করিয়া আধারস্থ পারদের **উপরতলকে** উঠান বা নামান যায। আধারের বাহিরে একটি পিতলের ঢাকনা O এবং আধারের মাথায় একটা

৫৫নং চিত্র

চামড়ার আসন P থাকে। কাচনলের শেষ প্রান্তের একটু উপরে ফোলা অংশ X চামড়ার আসনে চাপিয়া থাকে। চামড়ার ছিদ্রের ভিতর দিয়া বাহিরের বায়ু পারদের উপর চাপ প্রয়োগ করে। আধারের ঢাকনা হইতে একটি হস্তিদন্তের পিন Q খাড়াভাবে নীচের দিকে নামিয়া গিয়াছে। পিনের শেষ বিন্দু আধারের পারদের উপরতল স্পর্শ করে এবং শেষ বিন্দু ও স্কেলের শূন্য দাগ একই সমতলে থাকে।

ব্যারোমিটার-পাঠ (Reading) : যন্ত্রটি প্রথমে লম্বভাবে রাখ। এখন

N স্ক্রু ঘুরাইয়া যাও যতক্ষণ Q পিনের শেষ বিন্দু চকচকে পারদে প্রতিফলিত পিনের উল্টা প্রতিচ্ছবির শেষ বিন্দু স্পর্শ না করে। এখন পারদের তল পিনের শেষ বিন্দু বা স্কেলের শূন্য দাগ এক তলে থাকে। ভার্ণিয়ারের স্ক্রু ঘুরাইয়া ভার্ণিয়ারকে এমন অবস্থায় আন যে ভার্ণিয়ারের নীচের প্রান্ত (0° দাগ), পারদস্তম্ভের উত্তল (convex) উপরতল ও পশ্চাতে স্থাপিত ধাতব দণ্ডের শেষ প্রান্ত একই অনুভূমিক তলে থাকে। ইহা দেখিবার সুবিধার জন্য ভার্ণিয়ারের বিপরীত দিকে কাঠের গায়ে একখণ্ড সাদা প্লেট থাকে। চোখের দৃষ্টিকে পারদতলের উপর রাখিয়া ভার্ণিয়ার ঘুরাইয়া যাও। যে মুহূর্তে সাদা প্লেট ঠিক দৃষ্টির বাহিরে যাইবে সেই মুহূর্তে ভার্নিয়াকে বন্ধ কর। এইবার স্কেল দেখিয়া অঙ্ক লও।

ব্যারোমিটার গঠনে সংশোধন: বায়ুর চাপ $= a \times h \times \rho \times g$। যে যে কারণে h, ρ, g বদলায় সেই সেই কারণে বায়ুর চাপ বদলাইবে। কারণগুলি এইরূপ: (ক) **উষ্ণতার জন্য সংশোধন:** উষ্ণতার জন্য ঘনাঙ্ক ρ ও স্কেলের দৈর্ঘ্য h বদলায়। এই দুই সংশোধন তাপের খণ্ডে ৩৫ অণুচ্ছেদে দেওয়া হইয়াছে। (খ) সমুদ্রতল হইতে **উচ্চতা** বৃদ্ধির জন্য ও নিরক্ষরেখা হইতে **অক্ষাংশ** বৃদ্ধির জন্য g পরিবর্তিত হয়। সুতরাং বায়ু-চাপও পরিবর্তিত হয়। ৪৫° অক্ষাংশে ও সমুদ্রতলে বায়ুর চাপকে মান (Standard) চাপ ধরিয়া নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা চাপ সংশোধন করা হয়: $H\{1 - \cdot 00257 \text{ Cos } 2a - 1\cdot 96h \times 10^{-৭}\}$। এখানে $H = 0^{\circ}C$ উষ্ণতায় সংশোধিত উচ্চতা, a = অক্ষাংশ, h = সমুদ্রতল হইতে সেঃ মিটারে উচ্চতা।

A D B E

৫৬নং চিত্র

সাইফন ব্যারোমিটার (Siphon Barometer): একটি দীর্ঘ U আকৃতি কাচনলের AB বাহু বড়, DE বাহু ছোট। Dতে একটি ছিদ্র আছে। DE বাহু আধারের কাজ করে। দুই বাহুর পারদস্তম্ভের তলের পার্থক্য = বায়ুমণ্ডলের চাপ।

Aneroid ব্যারোমিটার: এই যন্ত্রে কোন তরল ব্যবহৃত হয় না। ইহা খুব হাল্‌কা ও ক্ষুদ্রাকৃতি সুতরাং ইহা সঙ্গে লইবার সুবিধা আছে। ধাতুর দ্বারা

নির্মিত বলিয়া ভাঙ্গিবার আশঙ্কা কম। ইহার নির্মাণ কৌশল খুব সরল হইলেও বায়ুর চাপ নির্ভুলভাবে পাওয়া যায়। এই যন্ত্রে একটি ক্ষুদ্র চোঙাকৃতি ধাতব ফাঁপা বাক্স প্রধান অংশ। বাক্সকে যথাসম্ভব বায়ুশূন্য করিয়া আটিয়া দেওয়া (seal) হয়। এই বাক্সের একদিকে খুব পাতলা স্থিতিস্থাপক ধাতব পাত (thin elastic metallic diaphragm) থাকে। পাতটি বৃত্তাকারে ঢেউ খেলান (corrugated) হয়। ইহাতে পাতের ক্ষেত্রফল বাড়িয়া যায়। বাহিরের বায়ুর চাপের সামান্য পরিবর্তনে পাতটি সহজে সাড়া দেয় (yield)। অর্থাৎ বায়ুর চাপ বাড়িলে পাতটি ভিতরের দিকে নামিয়া যায়, চাপ কমিলে উপরের দিকে ঠেলিয়া আসে। এই গতিকে বহুগুণ বৃদ্ধি করিয়া একটি নির্দেশক কাটাকে একটি বৃত্তাকার স্কেলের উপর ঘুরান হয়। এই স্কেলকে পারদ ব্যারোমিটারের স্কেলের সঙ্গে তুলনা করিয়া অংশাঙ্কন করা হয়। স্কেলে 'বৃষ্টি', 'ঝড়', 'ভাল' প্রভৃতি লেখা থাকে। কাঁটা স্কেলের এই সব জায়গায় আসিলে ঐ ঐ আবহাওয়া নির্দেশ করে। এই যন্ত্রে সমুদ্র তল হইতে উচ্চতা (altitude) নির্দেশক একটি স্কেল থাকে। সেইজন্য পর্বতারোহী বা বিমান চালকগণ পর্বত বা উড়ন্ত বিমানের উচ্চতা মাপিবার জন্য এই যন্ত্র ব্যবহার করেন। ইহাকে ঘড়ির মত ক্ষুদ্র করা যায়। Aneroid ব্যারোমিটারে উচ্চতা নির্দেশক স্কেল থাকিলে তাহাকে Altimeter বলে।

পারদ ব্যবহারের সুবিধা: (ক) পারদের আপেক্ষিক গুরুত্ব বেশী (১৩.৬) হওয়ায় পারদস্তম্ভের উচ্চতা মাত্র ৩০ ইঞ্চি হয়। সেইস্থলে জলস্তম্ভের উচ্চতা হয় ৩৪ ফুট, গ্লিসারিণ স্তম্ভের উচ্চতা হয় ২৬ ফুট। এই দুই তরল ব্যবহার করিলে অত্যন্ত দীর্ঘ কাচ নল লইতে হয়। (খ) সাধারণ উচ্চতায় পারদের বাষ্প কম হয় সেইজন্য বাষ্পের চাপ কম হয়। গ্লিসারিণের বাষ্প কম হইলেও ইহা জলীয় বাষ্প শুষিয়া লয়। জল হইতে বেশী বাষ্প বাহির হয়। ব্যারোমিটারে জল ব্যবহার করিলে এই জলীয় বাষ্প নলের ভিতরে জলের উপর চাপ দিবে কাজেই ব্যারোমিটারে বায়ুর চাপ কম হইবে। (গ) পারদ কাচের গায়ে লাগে (wet) না।

ব্যারোমিটারের উপকারিতা:—ব্যারোমিটার দ্বারা বায়ুর চাপ ও উচ্চতা মাপা যায় এবং আবহাওয়ার অবস্থা জানা যায়।

(১) **উচ্চতা-মাপ**ঃ—তরলের ন্যায় বায়ুস্তরের গভীরতা বাড়িলে চাপ বাড়ে। সমুদ্র তল হইতে যত উপরে উঠা যায় বায়ুস্তরের গভীরতা তত কমে, চাপও তত কমে। সেইজন্য সমুদ্রতল (যথা পুরী) অপেক্ষা পর্বতের উপরে (যথা দার্জিলিং) বায়ুচাপ তথা ব্যারোমিটারে পারদ স্তম্ভের উচ্চতা কমিয়া যাইবে।

মনে কর ব্যারোমিটারে পারদ স্তম্ভের উচ্চতা পুরীতে ও দার্জিলিংএ যথাক্রমে h_1 ও h_2 সেঃ মিঃ এবং পুরী হইতে দার্জিলিং-এর উচ্চতা $=$ H সেঃ মিঃ।

দুই স্থানের মধ্যে বায়ুর গড় ঘনাঙ্ক $= \rho$

∴ দুই স্থানের পারদস্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য $= h_1 - h_2$ সেঃ মিঃ

∴ দুই স্থানের বায়ুর চাপের পার্থক্য $= (h_1 - h_2)$ উচ্চতা বিশিষ্ট পারদ-স্তম্ভের ওজন $= (h_1 - h_2) \times ১৩\cdot৬ \times g$.

দুই স্থানের মধ্যে এক বর্গ সেঃ মিঃ প্রস্থচ্ছেদ ও H সেঃ মিঃ উচ্চতা বিশিষ্ট অর্থাৎ H ঘন সেঃ মিঃ বায়ুস্তম্ভের ওজন $= H \times 1 \times \rho \times g$.

$$\therefore \quad H \times \rho \times g = (h_1 - h_2) \times ১৩\cdot৬ \times g.$$

$$H = \frac{h_1 - h_2}{\rho} \times ১৩\cdot৬ \text{ সেঃ মিঃ} \cdots (৬২)$$

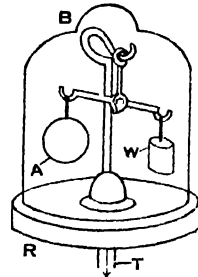
ব্যারোমিটার দেখিয়া উচ্চতা নির্ণয়ের পূর্ণ গণনা তাপের খণ্ডে দেওয়া হইয়াছে।

অল্প উচ্চতায় প্রত্যেক ৯১০ ফুটে বায়ুর চাপ এক ইঞ্চি কমে। উড়ো জাহাজের জন্য ব্যারোমিটার ব্যবহার করা হয়। বায়ু তরলের চেয়ে খুব বেশী সংকোচনশীল সেইজন্য বায়ুর ঘনাঙ্ক যত উপরে উঠা যায় তত কমিয়া যায়। সেইজন্য উপরের হিসাব ঠিক হয় না। কলিকাতায় (২১ ফুট উচ্চ) চাপ ৭৬২·৪ মিঃ মিঃ, দার্জিলিংএ (৭৪২৫ ফুট উচ্চ) চাপ ৫৮০·২ মিঃ মিঃ।

(২) **আবহাওয়া নির্ণয়**ঃ একই স্থানে দিবসের বিভিন্ন সময়ে ও বৎসরের বিভিন্ন ঋতুতে বায়ুর চাপের তারতম্য হয়। একই স্থানে বায়ুর চাপ বায়ুর ঘনাঙ্কের উপর নির্ভর করে কারণ ঘনাঙ্ক কমিলে ওজন কমে। বায়ুর ঘনাঙ্ক আবার বায়ুর উষ্ণতা ও জলীয় বাষ্পের পরিমাণের উপর নির্ভর করে। উষ্ণতা কমিলে ঘনাঙ্ক তথা চাপ কমে, জলীয় বাষ্প অপেক্ষা শুষ্ক বায়ুর ঘনাঙ্ক $\frac{8}{5}$ গুণ বেশী। কাজেই বায়ুতে জলীয় বাষ্প থাকিলে বায়ুর ঘনাঙ্ক তথা চাপ কমিয়া যায়।

ব্যারোমিটারে উচ্চতার বেশী হ্রাস (২ সেঃ মিঃ) বায়ুতে জলীয় বাষ্পের আধিক্য তথা বৃষ্টির সম্ভাবনা বোঝায়। যদি কোন স্থানের বায়ু চাপ হঠাৎ দ্রুত হ্রাস পাইলে (৩ সেঃ মিঃ) পার্শ্ববর্তি উচ্চ চাপের স্থান হইতে বায়ু প্রবলবেগে সেই স্থানের দিকে প্রবাহিত হয়। ইহাকে ঝড় (storm) বলে। কয়েকদিন ধরিয়া ধীরে ধীরে বায়ুর চাপ কমিলে খারাপ আবহাওয়ার সম্ভাবনা বোঝা যায়। বায়ু চাপের হঠাৎ-বৃদ্ধি-ভাল আবহাওয়ার সূচনা করে।

১৬০। **গ্যাসে আর্কিমিদিস নীতির প্রয়োগঃ** (ক) কোন দ্রব্য গ্যাসের ভিতর রাখিলে ইহা নিজ আয়তনের বায়ু অপসরণ করে এবং দ্রব্যের নীচে অপসারিত গ্যাসের ওজনের সমান ঊর্ধ চাপ পড়ে। সেইজন্য দ্রব্যের ওজন সামান্য কমে। দ্রব্যের বায়ুতে আপাত ওজন = প্রকৃত ওজন (শূন্যে ওজন) অপসারিত বায়ুর ওজন।

পরীক্ষা—Baroscope নামক যন্ত্র দিয়া এই নীতি পরীক্ষা করা যায়। একটি কর্কের বড় A গোলককে (globe) ছোট তুলার এক পাল্লায় রাখিয়া অপর পাল্লায় পিতলের W বাটখারা দিয়া সমভারমুক্ত (counterpoise) কর। তুলাকে এই অবস্থায় বায়ু-নিষ্কাশন যন্ত্রের আসনের (R) উপর বসাইয়া বেলজার B দিয়া ঢাকা দাও। আসনের ও বেলজারের জোড়মুখে ভেসলিন লাগাও। বেলজারের ভিতরের বায়ু T নল দিয়া নিষ্কাশন করিলে দাড়ি গোলকের পাল্লার দিকে ঝুকিবে। গোলকের আয়তন বাটখারার আয়তনের চেয়ে অনেক বেশী সুতরাং ইহা বেশী বায়ু অপসরণ করে বলিয়া বেশী উর্ধচাপ পাইয়াছিল। বায়ুতে আপাত ওজন উভয়েরই সমান ছিল। বায়ু অপসারিত হওয়ায় উভয়েরই উর্ধচাপ অপসারিত হইয়াছে কিন্তু গোলকের উর্ধচাপ বেশী হওয়ায় ইহার প্রকৃত ওজন বেশী হয়। দুই পাল্লায় সমান আয়তনের পদার্থ চাপাইলে বায়ুতে ও শূন্যে ওজনের কোন তারতম্য হয় না।

৫৭নং চিত্র

(খ) **পদার্থের প্রকৃত ওজনঃ** বায়ুর উর্ধচাপের জন্য পদার্থের প্রকৃত

ওজনের হ্রাস হয়। শূন্যে ওজনই প্রকৃত ওজন। ইহা পাইতে হইলে ঊর্ধ্বচাপের জন্য নিম্নলিখিত সংশোধন করিতে হয়। মনে কর পদার্থের প্রকৃত ওজন $= W$, বাটখারার প্রকৃত ওজন $= W_1$, পদার্থের ঘনাঙ্ক $= d$, বাটখারার ঘনাঙ্ক $= d_1$ বায়ুর ঘনাঙ্ক $= \rho$. $\therefore$ পদার্থের আয়তন $= \frac{W}{d}$, বাটখারার আয়তন $= \frac{W_1}{d_1}$

$\therefore$ পদার্থ দ্বারা অপসৃত বায়ুর ওজন $= \rho.\frac{W}{d}$, বাটখারা দ্বারা অপসৃত বায়ুর ওজন $= \rho.\frac{W_1}{d_1}$. তুলার সাম্য অবস্থায় $W - \frac{W}{d}\rho = W_1 - \frac{W_1}{d_1}\rho$

$$\therefore \quad W = W_1 \frac{\left(1 - \frac{\rho}{d_1}\right)}{1 - \frac{\rho}{d}} = W_1 + W_1\rho.\left(\frac{1}{d} - \frac{1}{d_1}\right)$$ কারণ ρ খুব নগণ্য.

(গ) **সমভরযুক্ত ও বিভিন্ন ঘনাঙ্ক যুক্ত পদার্থের ওজনঃ** সীসা পশমের চেয়ে হাল্কা পদার্থ সেইজন্য এক পাউণ্ড ভরের পশমের আয়তন এক পাউণ্ড ভরের সীসার আয়তনের চেয়ে অনেক কম। কাজেই পশমের ঊর্ধ্বচাপ বেশী হয়, উহা হাল্কা মনে হয়। সেইজন্য বলা হয় এক পাউণ্ড পশমের চেয়ে এক পাউণ্ড সীসা ভারী। কিন্তু এই বাক্য দ্ব্যার্থবোধক, কারণ প্রথমে বায়ুতে এক পাউণ্ড সীসা পশমের সঙ্গে সমওজন করিয়া বায়ুশূন্য স্থানে ওজন করিলে পশমের ওজন বেশী হইবে কিন্তু প্রথমে বায়ুশূন্য স্থানে উহাদের সমওজন করিয়া বায়ুতে ওজন করিলে পশমের ওজন কম হইবে।

(ঘ) একটী নমনীয় রবার ব্লাডার বায়ুপূর্ণ ও বায়ুশূন্য অবস্থায় ওজন করিলে দুই ওজনের পার্থক্য হয় না কেন? ব্লাডার বায়ুপূর্ণ করিলে আয়তনে বাড়ে। মনে কর ব্লাডারে V ঘঃ সেঃ মিঃ বায়ু ঢুকিল। অতএব ব্লাডারের বর্ধিত ওজন হইবে V ঘঃ সেঃ মিঃ বায়ুর ওজন কিন্তু স্ফীত ব্লাডার V ঘঃ সেঃ মিঃ বেশী বেশী বায়ু অপসারিত করিবে এবং স্ফীত ব্লাডারের ওজন হইতে V ঘঃ সেঃ মিঃ অপসারিত বায়ুর ওজন কমিবে। অর্থাৎ ব্লাডারের যতটা ওজন বাড়িবে ততটা ওজন কমিবে। কিন্তু তাই বলিয়া ইহাতে প্রমাণ হয় না যে বায়ুর ওজন নাই।

১৬১। **বেলুন** (Balloon) : বেলুন, বায়ু-জাহাজ (air-ship) প্রভৃতি যন্ত্র এমনভাবে গঠন করা হয় যাহাতে যাত্রীসহ যন্ত্রের ওজন অপসারিত বায়ুর ওজন অর্থাৎ বায়ুর ঊর্ধচাপ অপেক্ষা কম হয়। বায়ুর অধিক ঊর্ধচাপে যন্ত্রটি উপর-দিকে উঠে। এই দুই ওজনের পার্থক্যকে যন্ত্রের **উত্তোলন-শক্তি** (lifting power) বলে। বেলুন বায়ুর চেয়ে হাল্‌কা গ্যাসে (যথা হাইড্রোজেন, কয়লা-গ্যাস, হিলিয়াম) ভর্তি করা হয়। বেলুনে যাত্রীর জন্য হাল্‌কা জায়গা ও ছাতার মত প্যারাসুট থাকে। বেলুনের মাথায় অবস্থিত নিরাপদ-কপাট (safety valve) খুলিয়া ইচ্ছামত গ্যাস বাহির করা যায়। মনে কর বায়ুর ও বেলুনের গ্যাসের ঘনাঙ্ক যথাক্রমে d ও d', বেলুনের বাহিরের আয়তন $=$ V $=$ অপসৃত বায়ুর আয়তন; গ্যাসের আয়তন $=$ V'. ∴ অপসৃত বায়ুর ওজন $=$ বায়ুর ঊর্ধচাপ $= Vd$। বেলুনের গ্যাসের ওজন $= V'd'$ ∴ বেলুনের উত্তোলন শক্তি $= Vd - V'd'$.

খ-পোত (Air Ship) : ইহা বায়ুর চেয়ে হাল্‌কা। বেলুনের সঙ্গে মটর চালিত চাকা (propellers) ও হাল (rudder) জুড়িয়া দিলে খ-পোত হয়। হাল দিয়া খ-পোতের গতির দিক নিয়ন্ত্রিত হয়; যথা জেপলিন।

১৬২। **বিমান বা উড়ো জাহাজ** (Aeroplane) : ইহা বায়ুর চেয়ে ভারী। ইহার পাখার (plane or sails) বিস্তৃত তলের জন্য ইহা বায়ুতে ভাসে। ইহাতে নিম্নলিখিত অংশ থাকে : (ক) সিগারের আকারের ধাতব **আধার**। ইহার নীচে চাকা থাকে। (খ) প্রধান **পাখা**—আধারের সম্মুখ দিকে দুইটি বিস্তৃত তল। (গ) আধারের সম্মুখ দিকে মটর চালিত **চালন-চক্র** (propeller) থাকে। ইহার উপর বায়ুর প্রতিক্রিয়া যন্ত্রকে আগাইয়া লইয়া যায়। (ঘ) **লেজ** (tail) ও **হাল** (rudder) শেষের দিকে থাকে। ইহার ক্রিয়া ৩২ অনুচ্ছেদে বর্ণিত হইয়াছে।

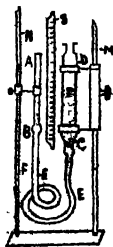
১৬৩। **বয়েলের সূত্র** (Boyle's law) : **গ্যাসের সংনমন :**— একই উষ্ণতায় রাখিয়া কোন নির্দিষ্ট ভরের (ওজনের) যে কোন গ্যাসের উপর চাপ বাড়াইলে বা কমাইলে গ্যাসের আয়তন চাপের সহিত ব্যস্তানুপাতে

পরিবর্তিত হয়। মনে কর গ্যাসের উপর p_1, p_2, p_3 চাপ প্রয়োগ করিলে আয়তন হয় যথাক্রমে v_1, v_2 তবে

$$v_1 \propto \frac{1}{p_1},\ v_2 \propto \frac{1}{p_2},\ v_3 \propto \frac{1}{p_3} \text{ বা } v_1p_1 = k, v_2p_2 = k, \ v_3p_3 = k$$

$$\therefore\ v_1p_1 = v_2p_2 = v_3p_3 = k(\text{ ধ্রুবক }). \cdots (৬৩)$$

প্রত্যেকবারের আয়তন ও চাপের গুণফল সমান হইবে।

বয়েলের সূত্রের সত্যতা নিরূপণ (Experimental Verification) : (ক) **যন্ত্রের বিবরণ** ঃ—AB কাঁচ-নলের সবটাই সমান ব্যাসের। ইহার উপরের মুখ বন্ধ। ইহার নীচের মুখ একটি দীর্ঘ পুরু-রবার নল BEC দ্বারা আর একটি তুই মুখ খোলা মোটা কাচ নল CDর সহিত সংযুক্ত করা থাকে। তুইটি নলকেই তুইটি খাড়া দণ্ডের (M ও N) গা বহিয়া উঠান বা নামান যায় এবং দণ্ডের যে কোন স্থানে আট্‌কান যায়। তুইটি নলের মাঝখানে একটি স্কেল S আছে। স্কেলের তুই পাশেই দাগ কাটা থাকে। AB নলটির ব্যাস যখন সর্বত্র সমান তখন ভিতরকার বায়ুর আয়তন বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক হয়। নির্ভুল গণনার জন্য অনেক সময় AB নলের গায়ে ঘঃ সেঃ মিঃ অংকে দাগ কাটা থাকে। AB ও DC নলদ্বয়ের নিম্ন অংশ ও রবার নলের সবটা শুষ্ক ও বিশুদ্ধ পারদে পূর্ণ থাকে। AB নলের উপর অংশে শুষ্ক বায়ু বা অন্য গ্যাস থাকে।

৫৮নং চিত্র

(খ) **পরীক্ষা : (১) বায়ুমণ্ডলের সমান চাপ :** CD নলকে এমন স্থানে রাখ যাহাতে তুই নলে পারদ একই সমতলে থাকে। CD নলে পারদের উপর বায়ু-মণ্ডলের চাপ পড়িতেছে। এই চাপ পারদের মধ্য দিয়া AB নলে বদ্ধ গ্যাসের উপর ক্রিয়া করিতেছে। ∴ গ্যাসের চাপ = এক বায়ুমণ্ডলের চাপ (one atmosbphere)। মনে কর এখন AB নলের বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য = l_1। এই অবস্থায় বায়ু-মণ্ডলের চাপ = p সেঃ মিঃ পারদস্তম্ভ (ব্যারোমিটার হইতে)।

(২) বায়ুমণ্ডলের চাপের বেশী চাপ :—যদি CD নলের পারদের তল AB নলের পারদের তলের চেয়ে উচু হয় তবে গ্যাসের চাপ এক বায়ুমণ্ডলের চাপের চেয়ে বেশী হইবে। CDর পারদের তল কম হইলে গ্যাসের চাপ কম হইবে। CDকে উপরে উঠাও। দুই নলেই পারদের তল উচু হইবে কিন্তু CDতে পারদের তল ABর পারদের তল হইতে উচু হইবে এবং বদ্ধ বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য কমিবে।

বদ্ধ বায়ুর উপর চাপ K = দুই নলে পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্যের বিয়োগ ফল + বায়ু-মণ্ডলের চাপ p সেঃ মিঃ। এই অঙ্ক লিখিয়া রাখ। CDকে ধাপে ধাপে তুলিয়া যাও। স্কেল দেখিয়া প্রত্যেক বার বদ্ধ বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য লিখ। উপরোক্ত নিয়মে বদ্ধ বায়ুর চাপ বাহির কর। মনে কর উহারা l_1', l_3', l_2,......সেঃ মিঃ এবং p । p_2 p_3......সেঃ মিঃ

এখানে p_1, p_2 p_3......বায়ুমণ্ডলের চাপের চেয়ে বেশী।

(৩) **বায়ুমণ্ডলের চাপের কম চাপ**—CDকে AB চেয়ে নীচে নামাও। ABর পারদও নীচের দিকে নামিবে কিন্তু CDর পারদের তল সব সময়েই ABর পারদের তল হইতে নীচে থাকিবে। CDতে পারদের উপর চাপ = বায়ুমণ্ডলের চাপ ∴ বদ্ধ বায়ুর চাপ = বায়ুমণ্ডলের চাপ − দুই নলে পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্যের বিয়োগ ফল। CDকে কয়েক স্থানে নামাইয়া রাখ। স্কেল দেখিয়া প্রত্যেক বার বদ্ধ বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য লিখ এবং দুই নলের পারদ-স্তম্ভের দৈর্ঘ্যের বিয়োগ ফল লিখ। মনে কর উহারা যথাক্রমে l_4, l_5, l_6 সেঃ মিঃ ও p_4, p_5, p_6 সেঃ মিঃ। এখানে p_4, p_5, p_6 বায়ুমণ্ডলের চাপের কম। দেখিবে, চাপ ও আয়তনের গুণফল $= PV = l_1p_1 = l_2p_2 = l_3p_3 = l_4p_4 = l_5p_5 = l_6p_6$ । ইহা বয়েলের সূত্র প্রমাণ করে।

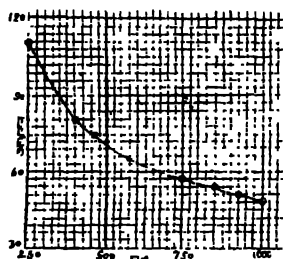
সতর্কতা (Precautions): (ক) পারদ ও বায়ু শুষ্ক হওয়া চাই। বায়ুকে Calcium Chloride-এর মধ্য দিয়া আনিয়া AB নলে ভর্তি করিলে বায়ু শুষ্ক হইবে। (খ) CD নলকে ধীরে ধীরে উঠাইতে বা নামাইতে হয় নতুবা তাপের পরিবর্তন ঘটিতে পারে। (গ) পরীক্ষার সময় বায়ুমণ্ডলের চাপের পরিবর্তনের সংশোধন করিবার জন্য পরীক্ষার প্রথমে ও শেষের চাপের গড় বাহির করিতে হয়।

১৬৪। **গ্যাসের চাপ ও ঘনাঙ্ক**ঃ মনে কর m ভর বিশিষ্ট গ্যাসের p চাপে আয়তন ও ঘনাঙ্ক যথাক্রমে v ও d হয় এবং p_1 চাপে আয়তন ও ঘনাঙ্ক যথাক্রমে v_1 ও d_1 হয়।

$$\text{ভর } m = v \times d = v_1 d_1 \qquad \therefore \frac{v}{v_1} = \frac{d_1}{d}$$

$$\text{বয়েলের সূত্রানুসারে } \frac{v}{v_1} = \frac{p_1}{p} \qquad \therefore \frac{d_1}{d} = \frac{p_1}{p} \ldots (৬৪)$$

অর্থাৎ ঘনাঙ্ক ও চাপ সমানুপাতিক হয়।

১৬৫। **লেখ (Graph) দ্বারা বয়েলের সূত্র-পরীক্ষা**ঃ চাপকে ভুজ ধরিয়া ও আয়তনকে কোটি ধরিয়া লেখ টানিলে লেখটি একটি আয়তক্ষেত্রিক পরাবৃত্ত (rectangular hyperbola) হইবে। চাপকে ভুজ ও $\frac{1}{V}$-কে কোটি ধরিয়া লেখ টানিলে লেখটি একটি সরল রেখা হইবে। যদি কোন লেখ একটি সরল রেখা হয় তবে দুইটি চলের (variables) গুণফল সমান হয়। অতএব লেখ দ্বারা বয়েলের সূত্র প্রমাণিত হয়। নির্দিষ্ট উষ্ণতায় গ্যাসের প্রসারণকে সমোষ্ণ (isothermal, iso—equal, thermos-heat) প্রসারণ বলে এবং লেখকে **সমোষ্ণ লেখ** (isothermal curve) বলে।

৫৯নং চিত্র

১৬৬। **আদর্শ বা জাত্য গ্যাস** (Perfect gas): কোন গ্যাসের যে কোনও চাপে PV যদি সমান হয় তবে সেই গ্যাসকে আদর্শ গ্যাস বলে কিন্তু এই রকম গ্যাস পাওয়া যায় না। অম্লজান, উদজান প্রভৃতি কতকগুলি গ্যাস আদর্শ গ্যাসের মত আচরণ করে।

১৬৭। **দোষযুক্ত (Faulty) ব্যারোমিটার**ঃ নলে পারদের উপরে বায়ু থাকিলে ব্যারোমিটারকে দোষযুক্ত বলে। নলে বায়ু না থাকিলে নলকে কাত করিতে থাকিলে বা Fortin ব্যারোমিটারে N স্ক্রুকে উপরে তুলিতে

থাকিলে এক সময়ে নলের সবটা পারদপূর্ণ হইবে। নলে বায়ু থাকিলে নলকে যতই কাত কর না কেন নলের শূন্য স্থানের সবটা পারদপূর্ণ হইবে না। চাপ পরিবর্ত্তনে বয়েলের সূত্রানুসারে এই বায়ুর আয়তন পরিবর্তন হয়। মনে কর প্রথমে h = পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য, l = নলে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য। CD নলকে নামাও যাহাতে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য প্রায় দ্বিগুণ হয়। মনে কর এখন h_1 = পারদ স্তম্ভের দৈর্ঘ্য, l_1 = বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য। যদি P = প্রকৃত বায়ুমণ্ডলের চাপ, a = নলের প্রস্থচ্ছেদ হয় তবে বয়েলের সূত্র অনুসারে $(P-h)\times a\,l = (P-h_1)\times a\,l_1$; এই সমীকরণ হইতে P পাওয়া যায়।

অঙ্ক What volume does a gramme of hydrogen occupy at O°C when the height of the mercurial barometer is 750 mm ? (1 c.c. of H weighs ·00008958 gram, at O°C and 760 mm.) (C. U. 1913).

·০০০০৮৯৫৮ গ্রাম হাইড্রোজেন সাধারণ উষ্ণতায় ও চাপে (N. T. P) ১ ঘন সেঃ মিঃ আয়তন দখল করে।

$\therefore$ এই উষ্ণতায় ও চাপে ১ গ্রাম হাইড্রোজেনের আয়তন = $\frac{১}{·০০০০৮৯৫৮}$ ঘঃ সেঃ মিঃ।

মনে কর ৭৫০ মিঃ মিঃ চাপে ও 0°C উষ্ণতায় ১ গ্রাম হাইড্রোজেনের আয়তন = V ঘঃ সেঃ মিঃ $\therefore$ $V\times ৭৫০ = \frac{১}{·০০০০৮৯৫৮}\times ৭৬০$

$$\therefore\ V = \frac{১}{·০০০০৮৯৫৯}\times\frac{৭৬০}{৭৫০} = ১১·৩৩ \text{ লিটার।}$$

প্রশ্ন

1. Describe an experiment to prove that air exerts pressure. How is the pressure measured ? (C. U. 1917, '18, '19, '26, '37 ; D. U. 1934). Express the normal pressure of air in absolute unit. (C. U. 1947.

2. Describe an experiment to prove that air has weight. Voltaire weighed a flexible bladder first when inflated with air and afterwards when it was deflated. He found both weighings to be

equal and concluded that air has no weight. Criticise this conclusion. (C. U. 1926, '44 ; D. U. 1929).

3. Explain fully what do you understand by Atmospheric Pressure. (C. U. 1921, '22, '37). Explain fully the statement, "The Atmosphere exerts a pressure of 15 lbs. per sq. inch nearly."
(C. U. 1919, '41).

4. Describe experiments to prove the existence of the atmospheric pressure. (C. U. 1918, D. U. 1934, '37).

5. What is Torricellian Vacuum ? Is it really a vacuum ?
(C. U. 1925, '40.).

6. Give a brief description of Fortin's Barometer with a neat sketch. Explain its adjustments, point out its precautions. (C. U. 1944, '45, '39, '35 ; D. U. 1929). Why the pressure is greater at Puri than at Darjeeling ?

7. State Boyle's law. How it may be experimentally verified both for pressure greater and less than atmospheric pressure. (C. U. 1924, '38, '41, '49 ; D. U. 1927).

বায়ু-চাপ সংক্রান্ত যন্ত্র (Air Pressure Machine)

১৬৮। **যন্ত্রগুলির নীতি :**—এই সকল যন্ত্রে তরল পদার্থের একদিকের বায়ু শুষিয়া কোন বদ্ধ জায়গার আয়তন বাড়ান হয় ; ইহাতে তরলের উপর একদিকে বায়ুর চাপ কমিয়া যায়। অপরদিকের বায়ুমণ্ডলের বেশী চাপে তরল আংশিক শূন্য স্থানে উঠিয়া পড়ে। এই সব যন্ত্রে বায়ু-নিরুদ্ধ পিষ্টনের (piston) দ্বারা নলের বা চোঙের ভিতরে আংশিক শূন্যতা সৃষ্টি করা হয়। নলের বা চোঙের নিম্ন অংশ তরলে ডুবান থাকে। তরল শূন্য স্থানে উঠিয়া পড়ে। এই সকল যন্ত্রে এক রকম **কপাট** (valve) ব্যবহার করা হয়। কপাটগুলি জল বা বায়ুর চাপের পার্থক্যের জন্য একদিকে খোলে বা বন্ধ হয় এবং ইহারা মাত্র একদিকে জলের বা বায়ুর পথ করিয়া দেয়, বিপরীত দিকে পথ বন্ধ করিয়া দেয়। ইহারা বিভিন্ন উদ্দেশ্যের জন্য বিভিন্ন আকৃতির হয়।

১৬৯। **যন্ত্র : (ক) পিচকারি (Syringe) :** একটি মোটা কাচ বা ধাতব নলের এক মুখে বায়ুনিরুদ্ধ দণ্ড লাগাইলে পিচকারি হয়। পিচকারির অপর সূচাল

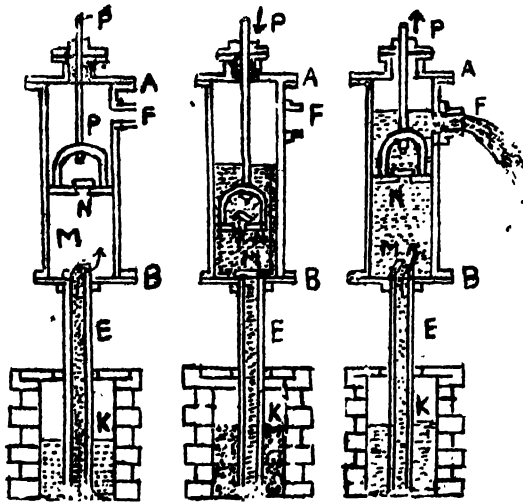
মুখটি (nozzle) কোন তরলে ডুবাইয়া দণ্ডটি উপরের দিকে টানিলে নলের ভিতর দণ্ডের নীচে বায়ুর চাপ-হ্রাস হয়। বাহিরের বায়ুর বেশী চাপে তরল নলের আংশিক শূন্য স্থানে ঢোকে। এই অবস্থায় পিচকারি তরল হইতে সরাইয়া লইলে বাহিরের বায়ুর বেশী চাপের জন্য তরল আপনা হইতে পড়ে না। দণ্ডটি নীচের দিকে ঠেলিলে নলের ভিতরে বায়ুর চাপ-বৃদ্ধি হয় এবং তরল বাহির হইয়া যায়। পিচকারিই সরলতম পাম্প।

সরবতের ভিতর সরু নল ঢুকাইয়া বায়ু টানিয়া সরবত পান করা—এই শোষণ-নীতির উপর নির্ভর করে। সূচাল মুখ বিশিষ্ট সরু নলের মাথায় রবারের টুপি (cap) পরাইয়া টুপি টিপিলে ভিতরে বায়ু বাহির হইয়া যায়। এই অবস্থায় নলের মুখ কালি বা তরল ঔষধে ডুবাইয়া টুপি ছাড়িয়া দিলে ভিতরের বায়ুর আয়তন বাড়ে সুতরাং চাপ কমে। বাহিরের বায়ুর বেশী চাপে কালি বা ঔষধ নলে ঢোকে। নল সরাইয়া পুনরায় টুপি টিপিলে কালি বা ঔষধ বাহির হইয়া আসে। ইহাকে কালি-পূরক (pen filler) বলে। স্বয়ংক্রিয় (self-filling) পূরকে রবারের নল কলমের ভিতরে থাকে। একটি সরু ধাতব দণ্ড টানিলে নলটি চুপসাইয়া যায়, ছাড়িয়া দিলে কালি ভিতরে ঢোকে।

(খ) **শোষণ-পাম্প** (Common Suction Pump) : **যন্ত্রের বিবরণ** :—AB ধাতব চোঙে (barrel) বায়ুনিরুদ্ধ ফাঁপা পিষ্টন P সহজে উঠা-নামা করে। চোঙের নিম্নদেশ হইতে একটি নল E জলাধার K-এর তলদেশ পর্যন্ত চলিয়া গিয়াছে। চোঙের ও পিষ্টনের নিম্নদেশে ছিদ্রের মুখে দুইটি কপাট M ও N আছে। ইহারা কেবল উপরদিকে খোলে। চোঙের উপরদিকে একটি জল নির্গমনের পথ (spout) F আছে। পিষ্টনটি হাতলের (handle) দ্বারা উঠান-নামান হয়।

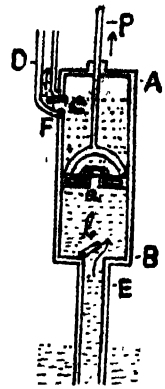
ক্রিয়া (Action) : (১) **পিষ্টনের ঊর্ধ্বগতি** (Up-stroke)—পিষ্টন সর্বনিম্ন অবস্থা হইতে তোল। পিষ্টনের নীচের জায়গার আয়তন বাড়িতে থাকে। চাপ কমিতে থাকে কিন্তু পিষ্টনের উপরে বায়ুমণ্ডলের বেশী চাপ পড়ায় N কপাট বন্ধ হয়। M কপাটের উপরে বায়ুর চাপ কম হয় কিন্তু কপাটের নীচে E নলে বাহিরের বায়ুমণ্ডলের বেশী চাপ থাকায় M কপাট উপরের দিকে

খোলে এবং খানিকটা বায়ু চোঙে ঢোকে। ফলে E নলে জলের উপর বায়ুর চাপ-হ্রাস হয় কিন্তু E নলের বাহিরে জলাধারের জলের উপর বায়ুমণ্ডলের বেশী চাপ থাকায় জল E নলে এবং তথা হইতে M কপাট দিয়া চোঙে ঢোকে। নলে জলের এই উর্ধগতি চলিতে থাকে যতক্ষণ না পিষ্টনটি সর্ব উচ্চ অবস্থানে পৌছায়।

(২) **পিষ্টনের নিম্নগতি (Down-stroke)**: এইবার পিষ্টনটি নীচে নামাও। পিষ্টনের নীচে চোঙের বায়ুর আয়তন কমিতে থাকে, চাপ বাড়িতে

৬০নং চিত্র

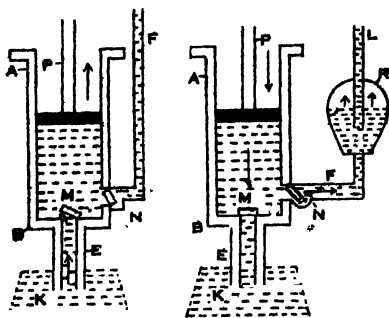
থাকে কাজেই M কপাট বন্ধ হয়। যখন চোঙের ভিতরের বায়ুর চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের চেয়ে বেশী হয় তখন N কপাট খুলিয়া জল পিষ্টনের উপরের জায়গায় যায়।—এইরূপ পিষ্টনের প্রত্যেক উর্ধগতিতে জল নল হইতে M কপাট দিয়া চোঙে ঢোকে, পিষ্টনের পরবর্তী নিম্নগতিতে চোঙের জল চোঙ হইতে N কপাট দিয়া পিষ্টনের উপরের জায়গায় আসে। পরবর্তী উর্ধগতিতে নল হইতে আরও জল চোঙে ঢোকে এবং পিষ্টনের উপরের জল F নির্গম নল (spout) দিয়া বাহির হয়। নলকূপ (Tube well) এই নীতিতে প্রস্তুত হয়।

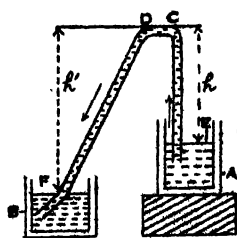
(৩) **শোষণ-যন্ত্রের সীমা ঃ** এই যন্ত্রে কেবল বায়ুমণ্ডলের চাপে জলাধার হইতে জল উচ্চে তোলা হয়। সেইজন্য এই যন্ত্রে নিয়মানুসারে ৩৪ ফুটের বেশী জল উঠিবে না। অর্থাৎ জলাধারের জলতল হইতে M কপাটের উচ্চতা ৩৪ ফুটের বেশী হইবে না। কার্যতঃ জল ২৫ ফুটের বেশী উঠে না। কারণ পাম্পটি সম্পূর্ণ বায়ুনিরুদ্ধ হয় না এবং কপাটকে ঠেলিতে খানিকটা বল ব্যয়িত হয়। এই যন্ত্রে জল সবিরামভাবে (intermittently) F নল দিয়া বাহির হয়।

(গ) **উত্তোলক পাম্প (Lift Pump) :** উপরোক্ত শোষণ-যন্ত্রে যদি পিষ্টন খুব শক্ত হয় এবং যদি নির্গম নল Fএর মুখে একটি ঊর্ধ্বমুখী কপাট C ও ঊর্ধ্বমুখী নল D যোগ করা হয় তবে যন্ত্রটি **উত্তোলক পাম্প** হইবে। পিষ্টনের উপরে জল সঞ্চিত হইলে পিষ্টনের ঊর্ধ্বগতিতে এই জল এই কপাট খুলিয়া D নলে চলিয়া যায়। পিষ্টনের নিম্নগতিতে D নলের জলের চাপে এই কপাট বন্ধ হইয়া যায়। N কপাটের উপর চাপ কমে। ইহা খোলে। M বন্ধ হয়। পাম্পের বিভিন্ন অংশগুলি খুব শক্ত হইলে এবং পিষ্টনটি জোরে টানিলে D নলের জল যে কোন উচ্চতায় তোলা যায়। মনে রাখিবে যে জলাধারের জলতল হইতে M কপাট পর্যন্ত উচ্চতা ৩৪ ফুটের বেশী কখনই হইবে না।

৬৭নং চিত্র

(ঘ) **Force পাম্প ঃ** এই যন্ত্রে AB শক্ত চোঙে একটি বায়ুনিরুদ্ধ **নীরেট** পিষ্টন P থাকে। পিষ্টনে কোন কপাট থাকে না। কেবল চোঙের নীচে অন্তর্মুখী M কপাট ও দীর্ঘ ঊর্ধ্বমুখী নল F থাকে। F নলের মুখে একটি বহির্মুখী কপাট N থাকে। চোঙ হইতে একটি নল জলাধার Kতে নামিয়া যায়।

ক্রিয়া ঃ মনে কর কয়েকবার পিষ্টনের উঠা-নামায় জল K নলের মুখে উঠিয়াছে। এখন পিষ্টনকে উপরে উঠাইলে চোঙের ভিতরে বায়ুর চাপ কমে, জল M কপাট খুলিয়া চোঙে ঢোকে, N বন্ধ থাকে। পিষ্টনকে নীচে নামাইলে ভিতরে বায়ুর আয়তন কমে, চাপ বাড়ে, M কপাট বন্ধ হয়। N কপাট খুলিয়া জল F নলে প্রবেশ করে। এইরূপ প্রত্যেক ঊর্ধ্বগতিতে জল E নল হইতে চোঙে ঢোকে,

প্রত্যেক নিম্নগতিতে জল চোঙ হইতে F নলে ঢোকে। এই যন্ত্রে কেবল দণ্ডের নিম্নগতিতে জল বাহির হয়। এই যন্ত্রে হাতলে প্রচুর জোর দিয়া জল যে কোন উচ্চতায় তোলা যায়। শোষণ পাম্পের মত এই পাম্পে জলের উত্তোলন বায়ুমণ্ডলের চাপের উপর নির্ভর করে না। জল কতটা উপরে তোলা যায় তাহা নির্ভর করে যন্ত্রের বিভিন্ন অংশের গঠনের উপর ও হাতল ঘুরাইবার শক্তির (motive power) উপর।

(ক) ৬২নং চিত্র (খ)

(ঙ) **অবিরাম জল নির্গমনের (Continuous flow) ব্যবস্থা ঃ** (১) এইরূপ দুইটি পাম্প একসঙ্গে জুড়িয়া একই হাতল দিয়া দুইটি পিষ্টন চালাইলে অবিরামভাবে একই নির্গমন নল দিয়া জল পড়ে। (২) Force-পাম্পের F নলটি একটি বদ্ধ বায়ু প্রকোষ্ঠের (air-chamber-R) নীচে শেষ হয়। (৬৩নং চিত্র (খ)) অপর একটি দীর্ঘ নল L প্রকোষ্ঠের প্রায় তলা হইতে যতদূর জল তোলা হয় ততদূর বিস্তৃত থাকে। পিষ্টনের নিম্নগতিতে জল N কপাট খুলিয়া F নল দিয়া বায়ু প্রকোষ্ঠে ঢোকে, বায়ু সংকুচিত হইয়া জলের উপর চাপ দেয় সেইজন্য জল L নল দিয়া উপরে উঠে। পিষ্টনের উর্ধ্বগতিতে N কপাট বন্ধ হয়। চাপ অপসারিত হয় সেইজন্য প্রকোষ্ঠের সংকুচিত বায়ু প্রসারিত হইয়া জলকে নলে ঠেলিয়া দেয়। এইরূপে জলের অবিরাম স্রোত প্রবাহিত হয়। অগ্নি-নির্বাপক এঞ্জিনে (Fire engine) আগুণের উপর জল অবিরামভাবে নিক্ষেপ করিবার জন্য এই পাম্প ব্যবহৃত হয়।

৬৩নং চিত্র

(চ) **সাইফন (Siphon):** এই যন্ত্র দিয়া পাত্রকে না নাড়িয়া এক পাত্র হইতে অন্য পাত্রে তরল সহজে স্থানান্তর করা যায়। ইহা দুইটি অসমান বাহু CE

ও DF বিশিষ্ট দুই মুখ খোলা একটি বক্র কাচ বা রবার নল। নলটিকে সম্পূর্ণরূপে তরলে পূর্ণ করিয়া দুই মুখ আঙুলে চাপিয়া ছোট বাহুর মুখ A পাত্রে তরলের নীচে রাখ এবং বড় বাহুর মুখ খালি পাত্র Bতে রাখ। আঙুল সরাইয়া লও। তরলের সবটাই নল দিয়া উঠিয়া খালি পাত্রে চলিয়া যাইবে। কিন্তু সব সময়েই তরলের পাত্রকে খালি পাত্রের চেয়ে উচ্চস্থানে রাখিতে হইবে।

নীতি: মনে কর উভয় পাত্রে বায়ুমণ্ডলের চাপ $= P$, তরলের ঘনাঙ্ক $= d$। A ও B পাত্রের তরলের উপরতল E ও F হইতে C ও D বিন্দুর উচ্চতা যথাক্রমে $= h$ ও h^1 হয়। যদি তরল দ্বারা নির্মিত এক একটি ব্যারোমিটার প্রত্যেক পাত্রে তরলের উপর উপুড় করিয়া রাখা হইত তবে তরলস্তম্ভ প্রত্যেক ব্যারোমিটারে একই উচ্চতায় থাকিত। এই উচ্চতা H ধরিলে $P = H dg$ হইত। প্রত্যেক ব্যারোমিটারে উচ্চতার পর টরিসেলি শূন্যতা থাকিত। আমরা জানি ব্যারোমিটার নলের মধ্যে উচ্চ হইতে উচ্চতর বিন্দুতে চাপ ক্রমশ কম হইয়া যায়। E ও F বিন্দুতে যে চাপ C ও D বিন্দুতে তার চেয়ে কম চাপ হয়। $\therefore$ C বিন্দুতে চাপ $X = P - hdg$, D বিন্দুতে চাপ $Y = P - h^1dg$.

এখানে $h^1 < h$ $\therefore$ $h^1dg < hdg$

$\therefore$ D বিন্দুতে চাপ < C বিন্দুতে চাপ

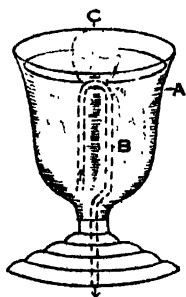
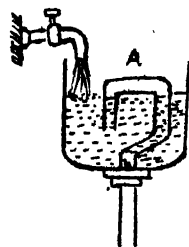
তরল উচ্চ চাপের জায়গা হইতে নিম্নচাপের জায়গায় প্রবাহিত হয় সুতরাং C হইতে তরল Dতে প্রবাহিত হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে বায়ুমণ্ডলের চাপে Cএর শূন্য স্থান পূরণ করিবার জন্য ক্রমাগত তরল Cতে উঠিবে। এইরূপে তরলের প্রবাহ চলিতে থাকিবে। (৬৩নং চিত্র)

সাইফনের ক্রিয়ার সর্ত: (১) সাইফনের দুই বাহুর দৈর্ঘ্য অসমান হইবে। (২) বৃহত্তর বাহুর মুখ শেষ পর্যন্ত সর্বদাই যে পাত্র খালি করিতে হইবে তাহাতে তরলের অনুভূমিক তলে নীচে থাকিবে নচেৎ Fতে চাপ ও $(h' - h)$ উচ্চতার তরলস্তম্ভের ওজনের যোগফল বায়ুমণ্ডলের চাপের অপেক্ষা কম হইবে। ইহাতে তরল প্রবাহিত হইবে না।

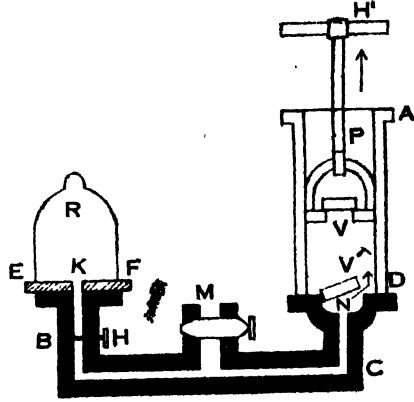
(৩) তরলের প্রস্তুত ব্যারোমিটারের উচ্চতার অপেক্ষা ছোট নলটির তরলের উপরের তরলস্তম্ভের দৈর্ঘ্য (h) কম হইবে নচেৎ বায়ুমণ্ডলের চাপ C পর্যন্ত তরলকে তুলিতে পারিবে না। জলের ক্ষেত্রে h ৩৪ ফুট পর্যন্ত হইতে পারে। পারদের

ক্ষেত্রে h ৩০ ইঞ্চি পর্যন্ত হইতে পারে। সুতরাং যদি ৪৫ ইঞ্চি গভীর পাত্র পারদপূর্ণ থাকে এবং যদি সাইফনের ক্ষুদ্রতর বাহু পাত্রের তলদেশ পর্যন্ত পৌছায় তবে উপরতল হইতে ৩০ ইঞ্চি পর্যন্ত পারদ অপসারিত হইবে কারণ ক্ষুদ্রতর বাহুর তরলস্তম্ভের উচ্চতা যতক্ষণ পর্য্যন্ত ৩০ ইঞ্চির কম থাকিবে ততক্ষণ তরল প্রবাহ চলিবে।

(৪) সাইফন সম্পূর্ণরূপে তরলে ভর্তি হওয়া দরকার। (৫) সাইফন বায়ুশূন্য স্থানে কাজ করিবে না। (৬) Eএর সঙ্গে একই অনুভূমিক তলের নীচে বড় বাহুতে কোন ছিদ্র করিলে সাইফনের কার্য বন্ধ হইবে না কিন্তু ইহার উপরে ছিদ্র করিলে সাইফনের কার্য বন্ধ হইবে।

সাইফনের কার্যকারিতা ঃ সাইফন দ্বারা অবিরাম (intermittent) তরল প্রবাহ উৎপন্ন করা যায় : (১) **Tantalus বাটি (Cup) :** একটি A বাটির ভিতর মানুষের (রাজা Tantalus) আবক্ষ মূর্তি (bust) C বসান আছে। মূর্তির ভিতর একটি সাইফন B লুক্কায়িত আছে। সাইফনের ছোট বাহুর শেষপ্রান্ত বাটির প্রায় তলদেশ পর্যন্ত গিয়াছে; বড় বাহু বাটির বাহিরে গিয়াছে। সাইফনের বক্র অংশ মূর্তির ঠোঁটের ঠিক নীচে পৌছিয়াছে। বাটিতে জল ঢালিলে জল বাটিতে ও ছোট বাহুতে উপরের দিকে উঠিতে থাকে। যখন জলতল মূর্তির ঠোঁটের কাছাকাছি যায় তখন সাইফনের ক্রিয়া আরম্ভ হয় এবং জল বড় বাহু দিয়া বাহির হইয়া যায়। রাজার তৃষ্ণা অতৃপ্ত থাকে।

৬৪নং চিত্র

৬৫নং চিত্র

(২) **স্বয়ংক্রিয় জল-প্রবাহ (Automatic Flush) :** এই যন্ত্রে পাত্রের জলতল যখন সাইফনের Aতে পৌছায় তখন জল খুব জোরের সঙ্গে বাহির হয় যতক্ষণ পর্যন্ত জলতল ছোট বাহুর শেষ প্রান্তে না যায়। সাধারণ প্রস্রাবাগারে ইহা ব্যবহৃত হয়।

(ছ) বায়ু নিষ্কাশক পাম্প (Air Exhaust Pump) কোন বদ্ধ স্থানকে বায়ুশূন্য করিবার জন্য এই যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। **যন্ত্রের বিবরণ :** (১) AD ধাতব শক্ত ও লম্ব চোঙে (barrel) একটি বায়ুনিরুদ্ধ পিষ্টন P আছে। ইহাকে H হাতল দিয়া উঠা বা নামান যায়। (২) EFকে পাম্পের রেকাবি (disc) বলে। ইহা গোলাকার। রেকাবির মাঝখানে একটি ছিদ্র K থাকে। চোঙের নীচে একটি ছিদ্র N থাকে। রবার নল CB এই দুই ছিদ্রকে যোগ করিয়াছে। চোঙের N ছিদ্র মুখে একটি ও পিষ্টনের নিম্নাংশে একটি—মোট দুইটি ঊর্ধ্বমুখী কপাট V′ ও V আছে। যে পাত্র (receiver) R হইতে বায়ু পাম্প করিতে হইবে সেই পাত্রকে EF রেকাবির উপর ভেসলিন দিয়া বায়ুনিরুদ্ধ ভাবে বসান হয়। চাবিযুক্ত (Stop-cock) M নল দিয়া পাম্পকে চাপ-মাপকের (manometer) সঙ্গে যোগ করা যায় এবং যে কোন সময়ে Rএর ভিতরের বায়ুর চাপ মাপা যায়।

৬৬নং চিত্র

ক্রিয়া : পাম্পের কার্য দুইটি পর্যায়ে হয় : একটি পিষ্টনের ঊর্ধ্বগতিতে এবং একটি নিম্নগতিতে। (১) **ঊর্ধ্বগতি :** পিষ্টনের সর্বনিম্ন অবস্থানে দুইটি কপাট বন্ধ থাকে। পিষ্টনকে উপরের দিকে টানিলে পিষ্টনের নীচে আংশিক শূন্যতা সৃষ্টি হয়। যতই পিষ্টন উপরের দিকে যায় ততই পিষ্টনের নীচে চোঙের বায়ুর আয়তন বাড়ে, চাপ কমে কিন্তু পিষ্টনের উপরে বায়ুমণ্ডলের বেশী চাপ থাকায় V কপাট বন্ধ থাকে। R পাত্রে ও CD নলে বায়ুর চাপ চোঙের বায়ুর চাপের চেয়ে বেশী হওয়ায় প্রথমোক্ত বায়ু V′ কপাট খুলিয়া চোঙে ঢোকে সুতরাং R পাত্রের বায়ুর চাপ কমিয়া যায় (২) পিষ্টনের নিম্ন

গতিতে চোঙের বায়ুর আয়তন ক্রমশঃ কমে। সুতরাং চাপ ক্রমশঃ বাড়ে। সেইজন্য V' কপাট বন্ধ হইয়া যায় এবং যখন চোঙের ভিতরের ক্রম বর্ধমান চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের চেয়ে বেশী হইয়া পড়ে তখন বায়ু V কপাট খুলিয়া বাহির হইয়া যায়।

অতএব পিষ্টনের প্রত্যেক উর্ধ্বগতিতে চোঙে থাকে কম চাপের বায়ু, দুই ধারে থাকে বেশী চাপের বায়ু সেইজন্য বায়ু R পাত্র হইতে চোঙে ঢোকে, চোঙে বায়ু ঢুকিলেও ইহার চাপ উর্ধ্বগতির সময়ে সর্বদাই বায়ুমণ্ডলের চাপের চেয়ে কম থাকে। প্রত্যেক পরবর্তি নিম্ন গতিতে চোঙে থাকে বেশী চাপের বায়ু, দুই ধারে থাকে কম চাপের বায়ু সেইজন্য উপরোক্ত বায়ু চোঙ হইতে বাহিরে চলিয়া যায়। এইরূপ ক্রিয়া চলিতে থাকে যতক্ষণ R পাত্রের বায়ুর চাপ এত কমিয়া যায় যে উহা V' কপাটকে আর খুলিতে পারে না।

(জ) দুই চোঙ বিশিষ্ট পাম্প (Double Barelled Pump) : এক চোঙের ক্রিয়া সবিরাম ভাবে চলে। এই ক্রিয়াকে অবিরাম (continuous) করিবার জন্য দুইটি চোঙের দুইটি পিষ্টনকে একই হাতল দিয়া এমনভাবে সংযোগ করা হয় যে একটি পিষ্টন যখন উঠে তখন অপরটি নামে। একই হাতল ঘুরাইয়া দাঁতকাটা চাকা ও দাঁতের (rack and pinion) ব্যবস্থা দ্বারা একই সঙ্গে উভয় পিষ্টনকে চালান হয়। উভয় চোঙ হইতে দুইটি নল বাহির হইয়া এক সঙ্গে একটি যুক্ত নল হয়। এই যুক্ত নলটি রেকাবির ছিদ্রের সঙ্গে যুক্ত থাকে। এই ব্যবস্থায় যন্ত্রের নিষ্কাশন ক্ষমতা দ্বিগুণ হয়।

নিষ্কাশনের মাত্রা (Degree of Exhaustion) **ও পাত্রের বায়ুর ঘনাঙ্ক ও চাপ নির্ণয় :** মনে কর R পাত্রের ও CD নলের যুক্ত আয়তন $=V$, চোঙের আয়তন $=v$, R পাত্রের বায়ুর প্রাথমিক ঘনাঙ্ক ও চাপ যথাক্রমে d ও P। পিষ্টনের **প্রথম উর্ধ্বগতিতে** পাত্রের ও নলের V আয়তনের বায়ু পাত্র, নল ও চোঙে $(V+v)$ আয়তনে ছড়াইয়া পড়ে সুতরাং বায়ুর চাপ ও ঘনাঙ্ক কমিয়া যায়। মনে কর উহা d_1 ও P_1 হয়। উভয় ক্ষেত্রে বায়ুর ভর একই থাকে।

$$\text{তখন } Vd=(V+v)d_1 \qquad \therefore\ d_1=\left(\frac{V}{V+v}\right)d \ \ldots\ldots(১)$$

এবং যখন উষ্ণতা একই থাকে তখন বয়েল নিয়মানুসারে

$$PV = P_1(V+v) \quad \therefore \; P_1 = \left(\frac{V}{V+v}\right)P \ldots\ldots (২)$$

পরবর্তি নিম্নগতিতে চোঙের বায়ু বাহির হইয়া যায় এবং পাত্রের ও নলের V আয়তনের ও d_1 ঘনাঙ্কের বায়ু খানিকটা থাকিয়া যায়। পিষ্টনের দ্বিতীয় উর্ধগতিতে এই বায়ু $(V+v)$ আয়তনে ছড়াইয়া পড়ে সুতরাং উহার চাপ ও ঘনাঙ্ক কমিয়া যায়। মনে কর উহারা যথাক্রমে d_2 ও P_2

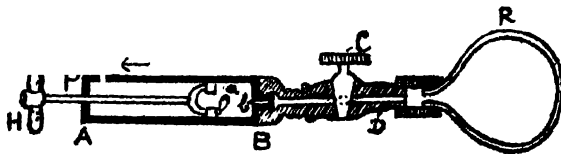
$$\therefore \text{ পূর্বের মত } d_2 = \left(\frac{V}{V+v}\right)d_1 = \left(\frac{V}{V+v}\right)^2 d. \text{ (১) হইতে}$$

$$\therefore \text{ পূর্বের মত } P_2 = \left(\frac{V}{V+v}\right)P_1 = \left(\frac{V}{V+v}\right)^2 P. \text{ (২) হইতে}$$

পিষ্টনের n সম্পূর্ণ গতির পর পাত্রের বায়ুর ঘনাঙ্ক ও চাপ যথাক্রমে d_n ও P_nএর হয় তবে

$$d_n = \left(\frac{V}{V+v}\right)^n d \text{ এবং } P_n = \left(\frac{V}{V+v}\right)^n P \ldots (৬৫)$$

$\frac{V}{V+v}$এর মান কখনই শূন্য হয় না $\therefore$ d_n ও P_nএর মান কখনই শূন্য হয় না। অর্থাৎ R পাত্রকে সম্পূর্ণ বায়ুশূন্য করা যায় না।

(ঞ) **বায়ুসংকোচক বা সংনমন পাম্প** (**Compression** বা **Condensing Pump**): ইহার দ্বারা কোন বদ্ধ পাত্রে বায়ু ঢুকান হয়।

৬৭ নং চিত্র

যন্ত্র ঃ (ক) AB একটি শক্ত ধাতব চোঙ। P একটি বায়ুনিরুদ্ধ পিষ্টন। হাতল H দিয়া পিষ্টনকে উঠান বা নামান যায়। পিষ্টনের শেষে ও চোঙের শেষে দুইটি কপাট a ও b, R পাত্রের দিকে খোলে। চোঙ ও পাত্র C stop-cock বিশিষ্ট ছোট নল D দ্বারা সংযুক্ত। পাত্রে প্রয়োজন মত বায়ু ঢুকিলে stop-cock বন্ধ করা হয়।

ক্রিয়া : পিষ্টন চোঙের B প্রান্তে থাকিলে কপাট দুইটি বন্ধ থাকে। পিষ্টনের Aর দিকে **পশ্চাৎ গতিতে** দুই কপাটের মধ্যস্থিত জায়গা আয়তনে বাড়ে সেখানকার চাপ কমে, দুই দিকে থাকে বায়ুর বেশী চাপ। R পাত্রের বায়ুর বেশী চাপে b কপাট বন্ধ হয়। বায়ুমণ্ডলের বেশী চাপে a কপাট খুলিয়া যায় এবং চোঙ বায়ুতে ভর্তি হয়। পিষ্টনের Bর দিকে **সম্মুখ গতিতে** চোঙের ভিতরের বায়ুর আয়তন কমে এবং চাপ বৃদ্ধি পায়। যখন এই চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের চেয়ে বেশী হয় তখন a বন্ধ হয়। যখন এই চাপ R পাত্রের চাপের চেয়ে বেশী হয়, b কপাট খুলিয়া যায়। চোঙের বায়ু R পাত্রে ঢোকে। পিষ্টনের প্রত্যেক পশ্চাৎগতিতে বায়ু চোঙে ঢোকে, পরবর্তি সম্মুখ গতিতে সেই বায়ু পাত্রে ঢোকে।

সংকোচনের মাত্রা (Degree of Compression) : মনে কর পাত্রের ও সংযোজক নলের নোট আয়তন $=$ V, চোঙের অয়াতন $= v$, পাত্রের বায়ুর প্রাথমিক ঘনাঙ্ক ও চাপ $= d$ ও P। মনে কর এই ঘনাঙ্ক ও চাপ বায়ুমণ্ডলের ঘনাঙ্ক ও চাপের সমান। R পাত্রে প্রাথমিক বায়ুর ভর $= Vd$. প্রত্যেক সম্মুখ গতির শেষে v আয়তনের ও d ঘনাঙ্কের বায়ু (যাহার ভর $= vd$) পাত্রে ঢোকে।

পাত্রের প্রাথমিক বায়ুর ভর $= Vd$. $\therefore$ n সম্পূর্ণ গতিতে পাত্রের মধ্যে প্রবিষ্ট বায়ুর ভর $= n.\ vd$.

$\therefore$ n সম্পূর্ণ গতির পর পাত্রে মোট বায়ুর ভর $= Vd + nvd$. কিন্তু পাত্রের আয়তন Vএর সমান থাকে। $\therefore$ যদি n সম্পূর্ণ গতির পর পাত্রের বায়ুর ঘনাঙ্ক ও চাপ যথাক্রমে d_n ও P_n হয় তবে

$$d_n = \frac{\text{ভর}}{\text{ঘনাঙ্ক}} = \left(\frac{V+nv}{V}\right) d = \left(1+n\frac{v}{V}\right)d.$$

বয়েল নিয়মানুসারে ঘনাঙ্ক ও চাপ সমানুপাতিক হয়

$$\therefore\ P_n = \left(1+\frac{nv}{V}\right)P. \cdots (৬৬)$$

সংকোচক পাম্পের ও নিষ্কাশন পাম্পের পার্থক্য :

(ক) সংকোচক পাম্পে নির্দিষ্ট আয়তন ও ঘনাঙ্কের বায়ু পাত্রে ঢোকে সুতরাং পিষ্টনের প্রত্যেক গতিতে প্রবিষ্ট বায়ুর ভর সমান থাকে। নিষ্কাশক

পাম্পে নিষ্কাশিত বায়ুর ঘনাঙ্ক পিষ্টনের প্রত্যেক গতিতে কমিয়া যায় সুতরাং নিষ্কাশিত বায়ুর ভর কমিয়া যায়। (খ) দুই পাম্পে কপাটগুলির মুখ বিপরীত দিকে থাকে। (গ) দুই পাম্পে বিপরীত কার্য হয়।

সংকোচক পাম্পের ব্যবহার: (ক) সাইকেল পাম্প: এখানে পিষ্টনের কপাটের পরিবর্তে বাটির আকারের চামড়া (cup shaped washer) থাকে। বাটির ধার ভিতরের দিকে মুখ করিয়া থাকে। পিষ্টনের ঊর্ধগতিতে বাটির ধার ভিতরের দিকে চুপসাইয়া যায় এবং বাহিরের বায়ু চোঙের গা ও বাটির মধ্য দিয়া চোঙের ভিতর ঢোকে। পিষ্টনের নিম্নগতিতে চোঙের ভিতর বায়ুর চাপ বৃদ্ধি হয়, চামড়ার বাটি চোঙের গায়ে জোরে লাগিয়া যায়। চোঙ বায়ুনিরুদ্ধ হয়। বায়ু সাইকেলের নলের (tube) মুখে কপাট খুলিয়া নলে প্রবেশ করে। ফুটবল পাম্প (inflator), সোডাওয়াটার যন্ত্র একই নীতিতে গঠিত। ষ্টোভে কিংবা Hassack আলোয় সংকুচিত বায়ুর বর্ধিত চাপে তৈলাধার হইতে তৈল একটি উত্তপ্ত নলের ভিতর দিয়া উঠিবার সময় বাষ্প হইয়া যায় এবং একটি সরু নলের মুখে জ্বলিতে থাকে।

১৭০। গ্যাস চাপ-মাপক (Pressure Gauge বা Monometer.) : একটি U আকৃতির নলের এক বাহু যে বদ্ধ পাত্রের গ্যাসের চাপ মাপিতে হইবে তাহার সহিত যোগ থাকে। অপর বাহুর মুখ খোলা থাকে। U নলে খানিকটা পারদ বা জল থাকে। পাশে একটা স্কেল থাকে। দুই বাহুতে পারদস্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য h = গ্যাসের চাপের ও বায়ুমণ্ডলের চাপ Pএর পার্থক্য ∴ এখানে h ও P জানা আছে ∴ গ্যাসের চাপ বাহির করা যায়।

অঙ্ক—The barrel and receiver of a condensing pump have capacities of 75 c.c. and 1000 c.c. respectively. How many strokes will be required to raise the pressure of the air in the receiver from one to four atmospheres. (C. U. 1925).

আমরা জানি $P_n = \left(১+n\frac{v}{V}\right)P$ (v = চোঙের আয়তন, V = পাত্রের আয়তন, P = বায়ুমণ্ডলের চাপ)

$\therefore\ ৪ = \left(১+n.\ \frac{৭৫}{১০০০}\right)$ বা $১২০ = ৩n$ বা $n = ৪০$.

প্রশ্ন

1. Describe in detail an air-pump with a diagram.
(C. U. 1923, '28, '33, '47 ; P. U. 1925, '20).

2. Describe a double barelled air-pump and explain its action.
(C. U. 1938)

3. Describe a condensing air pump in detail with a diagram and its mode of action. (C. U. 1925)

4. Explain the principle and action of a siphon (C. U. 1926, '31, '36, '37) and state how the principle is used in Tantalus Cup.
(C. U. 1928)

5. Describe in detail with a diagram a Common Pump, and its mode of action. Is there any limit to the depth from which it can raise water ?

6. Describe and explain the action of a force pump.
(C. U. 1937. P. U. 1930)

সাধারণ পদার্থ বিজ্ঞানের প্রয়োজনীয় সমীকরণ

(1) $d = \frac{m}{v}$ (2) $v = u + ft.$

(3) $s = ut + \frac{1}{2} ft^2$ (4) $v^2 = u^2 + 2fs.$

(5) $P = mf$ (6) $F = \frac{mv^2}{r}.$

(7) $F = G\frac{mm'}{d^2}$ (8) $W = mg = G.\frac{Mm}{R^2}$

(9) $W = P.S.$ (10) $K.E = \frac{1}{2} mu^2.$

(11) $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ (12) $P = hpg.$

(13) $PV = R.$

(14) এক পাউণ্ডের ওজন $= g$ পাউণ্ডাল। এক গ্রামের ওজন $= g$ ডাইন.

(15) $Y = \frac{Wg}{\pi r^2} \times \frac{L}{l}$ ডাইন প্রতি বঃ সেঃ মিঃ

দ্বিতীয় খণ্ড

তাপ (Heat)

থার্মমিতি (Thermometry)

১। **তাপ**—বরফ হাতে ঠাণ্ডা লাগে, আগুন হাতে গরম লাগে। ঠাণ্ডা-গরম অনুভূতির কারণ হইল তাপ। কয়লা জ্বালিলে আগুন পাই। কয়লার রাসায়নিক শক্তি তাপ শক্তিতে পরিণত হয়। এই তাপে জল বাষ্প হয়। বাষ্পের চাপে গাড়ী চলে। দুইটি দ্রব্য ঘর্ষণ করিলে যান্ত্রিক শক্তি হইতে তাপ শক্তি পাই। অতএব **তাপ এক প্রকার শক্তি**। এই তাপ শক্তি অণুর গতীয় শক্তি হইতে উদ্ভূত হয়। অণুর গতির হ্রাস-বৃদ্ধি হইলে পদার্থের তাপের হ্রাস-বৃদ্ধি হয়। কোন পদার্থকে উষ্ণ করা অর্থ অণুর গতি তথা গতীয় শক্তি বৃদ্ধি করা। অণুর মোট গতীয় শক্তির মাপ হইলে মোট তাপের মাপ। ইহাকে তাপের **গতীয় মতবাদ** (Dynamic Theory) বলে।

২। **তাপের উৎস** (Sources of Heat): আমরা সাধারণতঃ নিম্নলিখিত উৎস হইতে তাপ পাইয়া থাকি :—(ক) **সূর্য**: সৌর শক্তি হইতে প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে আমরা সমস্ত তাপ শক্তি পাই। খাদ্যশস্য, কয়লা, বায়ুপ্রবাহ জলপ্রবাহ, তৈল প্রভৃতি সমস্ত দ্রব্য হইতে প্রাপ্তশক্তি পরোক্ষভাবে সৌর শক্তির উপর নির্ভর করে। আবার আমরা প্রত্যক্ষভাবে সূর্য হইতে প্রভূত তাপ ও আলো পাই। (খ) **রাসায়নিক ক্রিয়া**: অক্সিজেন ও হাইড্রোজেনের মিলনের সময় প্রভূত তাপ উৎপন্ন হয়। (গ) **ঘর্ষণ**: দুইটি কঠিন পদার্থে ঘর্ষণ করিলে তাপ উৎপন্ন হয়। (ঘ) **বিদ্যুৎ**। (ঙ) **অবস্থার পরিবর্তন**: বাষ্প জল হইবার সময়ে তাপ উৎপন্ন হয়। (চ) পৃথিবীর কেন্দ্রে প্রভূত তাপ আছে।

৩। **তাপের ফল** (Effects of Heat): কোন বস্তুতে তাপ প্রয়োগ করিলে নিম্নলিখিত ফল উৎপন্ন হয়: (ক) উষ্ণতা (temperature)-বৃদ্ধি, (খ) আয়তন-বৃদ্ধি, (গ) অবস্থার পরিবর্তন, (ঘ) কতকগুলি বাহ্যিক গুণের পরিবর্তন যথা স্থিতিস্থাপকতা, দ্রবণ-ক্ষমতা, তাপ ও তড়িৎ পরিবহন ক্ষমতা, চৌমকত্ব।

(ঙ) আভ্যন্তরীণ বলের (internal stress) পরিবর্তন। (চ) রাসায়নিক পরিবর্তন—চিনি পুড়াইলে কয়লা ও জল হয়। (ছ) বৈদ্যুতিক ফল।

৪। **তাপ ও উষ্ণতার পার্থক্য:** তাপ ও উষ্ণতার সম্পর্ক ঘনিষ্ঠ হইলেও উহারা এক নহে। উহাদের পার্থক্য এইরূপ: (ক) তাপ হইল কোন দ্রব্যে এই শক্তির মোট পরিমাণ। উষ্ণতা হইল সেই দ্রব্যের একটি বিশেষ অবস্থা যাহা তাপ-প্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করে। একটি উত্তপ্ত লাল টক্‌টকে ছোট লোহার বলের মোট তাপ শক্তি এক বালতি গরম জলের মোট তাপ শক্তির চেয়ে পরিমাণে অনেক কম কিন্তু বলের উষ্ণতা জলের উষ্ণতার চেয়ে অনেক বেশী বলিয়া এই জলে বল ফেলিলে তাপ বল হইতে জলে যাইবে। বলের উষ্ণতা কমিয়া, জলের উষ্ণতা বাড়িয়া উভয়ের উষ্ণতা সমান হইবে। কিন্তু এই অবস্থাতেও উভয়ের তাপ অসমান থাকিবে। (খ) তাপে সাধারণতঃ উষ্ণতা বাড়ে। (গ) দুইটি দ্রব্য একই উষ্ণতায় থাকিলেও একের অন্যের চেয়ে তাপ বেশী হইতে পারে। একটি কেট্‌লির ফুটন্ত জল হইতে এক চামচ জল পৃথক করিলে উভয় জল এক উষ্ণতায় থাকিলেও উহাদের তাপের পরিমাণ পৃথক হয়। (ঘ) তাপ ও উষ্ণতা যথাক্রমে তরল পদার্থ ও ইহার তলের (level) সঙ্গে তুলনীয়। উচ্চ তলে অবস্থিত কম পরিমাণ তরলের সঙ্গে নিম্নতলে অবস্থিত বেশী পরিমাণ তরলের সংযোগ স্থাপিত হইলে তরল উচ্চতল হইতে নিম্নতলে প্রবাহিত হয়। দুই তরল এক তলে থাকিলে তরল প্রবাহিত হয় না। সেইরূপ দুইটি দ্রব্যের তাপের পরিমাণ যাহাই হউক তাপ উচ্চ উষ্ণতার দ্রব্য হইতে নিম্ন উষ্ণতার দ্রব্যে প্রবাহিত হইবে। একই উষ্ণতায় থাকিলে তাপ চলাচল হয় না। কোন পদার্থের মোট তাপ ইহার ভর ও উষ্ণতার উপর নির্ভর করে।

৫। **উষ্ণতার পরিমাপ (Measurement of temperature):** আমরা সাধারণতঃ কোন দ্রব্য স্পর্শ করিয়া উহার উষ্ণতা অনুভব করি। আমরা গায়ে হাত দিয়া জ্বর দেখি। এই উপায় দ্বারা মোটামুটি আপেক্ষিক উষ্ণতা বোঝা যায় কিন্তু উষ্ণতা মাপা যায় না। অনেক সময় আপেক্ষিক উষ্ণতাও বোঝা যায় না। ডান হাত উষ্ণ জলে বাম হাত শীতল জলে ডুবাইয়া দুই হাত এক সঙ্গে ঈষদুষ্ণ জলে ডুবাইলে ডান হাতে এই জল শীতল,

বাম হাতে এই একই জল উষ্ণ বোধ হইবে। আবার সাধারণ উষ্ণতার চেয়ে কম উষ্ণতার পাথরে ও কাঠে হাত দিলে পাথর বেশী শীতল কাঠ কম শীতল বোধ হইবে। কারণ এই স্পর্শ অনুভূতি পদার্থের উষ্ণতার উপর শুধু নির্ভর করে না, ইহা পদার্থের তাপ-পরিবহন ক্ষমতার উপর নির্ভর করে অতএব স্পর্শ অনুভূতি দিয়া উষ্ণতা মাপা যায় না।

অতএব তাপের অন্য ফল দিয়া উষ্ণতা মাপা হয়। তাপে পদার্থের আয়তন-বৃদ্ধি উষ্ণতা-বৃদ্ধির সমানুপাতিক হয়। তাপ প্রয়োগে কঠিনের আয়তন-বৃদ্ধি খুব কম, গ্যাসের আযতন বৃদ্ধি খুব বেশী, তরলের আয়তন-বৃদ্ধি মাঝামাঝি; সেইজন্য তরলের আয়তন-বৃদ্ধি দ্বারা উষ্ণতা মাপা হয়। নানা সুবিধার জন্য পারদকে উষ্ণতা মাপার কার্যে ব্যবহার করা হয় (পরে দেখুন)।

৬। **থার্মমিটার :(Thermometer) :** যে যন্ত্র দিয়া উষ্ণতা মাপা যায় তাহাকে **থার্মমিটার** বলে। যে থার্মমিটারে পারদ ব্যবহৃত হয় তাহাকে **পারদ থার্মমিটার** (Mercury Thermometer) বলে।

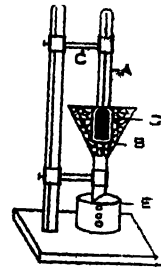
(১) **থার্মমিটার নির্মাণ** (Construction of a Thermometer) :

(ক) **নল-প্রস্তুত :** দুই মুখ খোলা সমান ব্যাসের রন্ধ্র বিশিষ্ট (of uniform bore) পুরু কাচের একটি কৈশিক (capillary-চুলের মত রন্ধ্র বিশিষ্ট) নল A লও। ইহাকে পরিষ্কার ও শুষ্ক কর। ইহার এক প্রান্ত আগুণে গলাইয়া অপর প্রান্তে ফু দিয়া একটি গোল কুণ্ড (bulb) B তৈয়ার কর। খোলা মুখের একটু নীচে কাচনলকে আগুণে গলাইয়া এবং টানিয়া সেই স্থানের ছিদ্রকে সরু কর। খোলা মুখে ছোট রবার নল (D) দিয়া একটি ফানেল (E) যুক্ত কর। (১নং চিত্র)

(খ)। **পারদ ভর্তিকরণ :** ফানেলে কিছু বিশুদ্ধ ও শুষ্ক পারদ ঢাল। নলের রন্ধ্র সরু হওয়ায় ও নল বায়ুপূর্ণ হওয়ায় পারদ নলে ঢুকিবে না। B কুণ্ডকে গরম করিলে বায়ু আয়তনে বাড়িয়া ফানেলের পারদের মধ্য দিয়া বুদ্বুদের আকারে বাহির হইবে। তৎপরে কুণ্ডকে শীতল করিলে ভিতরকার বায়ুর চাপ কমিবে। বাহিরের বায়ুমণ্ডলের বেশী চাপে কিছু পারদ নলে এবং একটু পারদ কুণ্ডে ঢুকিবে। এখন কুণ্ডের পারদকে ফুটাইলে পারদের বাষ্প, কিছু বায়ুকে ও জলীয়

বাষ্পকে নল হইতে তাড়াইয়া দিবে। কুণ্ডকে শীতল করিলে কিছু পারদ নলে ঢুকিবে। এইরূপ পর্য্যায়ক্রমে চার পাঁচবার কুণ্ডকে উষ্ণ ও শীতল করিলে কুণ্ডের ও নলের সবটাই পারদপূর্ণ হইবে। থার্মমিটারটি ভবিষ্যতে যে সর্বোচ্চ উষ্ণতায় ব্যবহৃত হইবে তার চেয়ে বেশী উতপ্ত কোন তরলে কুণ্ডকে ডুবাইয়া রাখ। পারদ অতিরিক্ত থাকিলে আয়তনে বাড়িবে এবং কিছু ফানেলে উঠিবে। উষ্ণ অবস্থায় অতিরিক্ত পারদকে সরাইয়া লও। কুণ্ডকে ধীরে ধীরে শীতল হইতে দাও। পারদ সংকুচিত হইয়া যখন নলের সরু জায়গা দিয়া নামিবে তখন সরু জায়গা তীব্র আগুণের শিখা দিয়া গলাইয়া বন্ধ কর। নলকে ও কুণ্ডকে পূর্ব আয়তনে ফিরাইয়া আনিবার জন্য কয়েকদিন ধরিয়া ঠাণ্ডা কর। সাধারণ উষ্ণতায় কুণ্ডে ও নলের খানিকটায় পারদ থাকে, অবশিষ্ট অংশে পারদ-বাষ্প থাকে।

১নং চিত্র

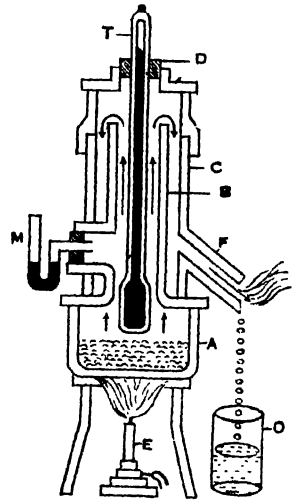
(গ) অংশাঙ্কন বা **দাগ-কাটা** (Graduation): নলের গায়ে অংশাঙ্কন করিতে হইলে প্রথমে দুই নির্দিষ্ট উষ্ণতায় নলে পারদস্তম্ভের উপর তলের অবস্থানে দুইটি দাগ কাটিতে হয়। এই দুই দাগকে **মান বিন্দু** (Fixed point) বলে। সাধারণ বায়ুর চাপে (Normal pressure) সর্বদা এক নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বিশুদ্ধ বরফ গলে বা বিশুদ্ধ জল জমে। এই উষ্ণতাকে **হিমাঙ্ক** (Ice বা Freezing point) বলে। ইহা থার্মমিটারের নিম্ন মান বিন্দু। সাধারণ বায়ুর চাপে বিশুদ্ধ জল একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ফোটে। এই উষ্ণতাকে **স্ফুটনাঙ্ক** (Boiling point) বলে। ইহা থার্মমিটারের উচ্চ মান বিন্দু।

(ঘ) হিমাঙ্ক নির্ণয় (Determination of Freezing point): A থার্মমিটারকে খাড়াভাবে একটি B ফানেলের উপর এমনভাবে C বন্ধনী (clamp) দিয়া আটকাও যাহাতে কুণ্ডটি ফানেলের ভিতর আলগাভাবে থাকে। কুণ্ড ও নলের কিয়দংশের চারিপাশে পরিস্রুত (distilled) জল দ্বারা

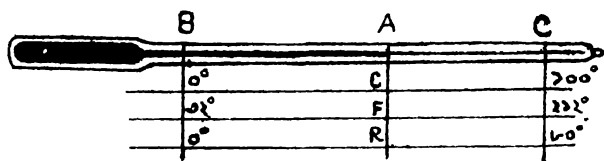
২নং চিত্র

ধৌত বরফ খণ্ড D চাপিয়া দাও। বরফ গলা জল ফানেলের নীচে স্থাপিত একটি E পাত্রে পড়িবে। পারদ শৈত্যে ক্রমশঃ সংকুচিত হইবে এবং পারদস্তম্ভ নীচে নামিতে নামিতে এক জায়গায় স্থির হইবে। দেখিবে যেন স্থির বিন্দু পর্যন্ত থার্মমিটারটি বরফের মধ্যে ডুবিয়া থাকে। এই অবস্থায় পনর মিনিট রাখ। পারদের উপর তলের অবস্থানে নলের গায়ে উখা (file) দিয়া দাগ কাট। এই দাগই থার্মমিটারের **হিমাঙ্ক** বা নিম্ন মান বিন্দু।

(ঙ) **স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয়** (Determination of Boiling point): **Hypsometer** নামক যন্ত্রে ১০০°C উষ্ণতায় জলের বাষ্পে কুণ্ড রাখিয়া ইহা নির্ণীত হয়। এই যন্ত্রে একটি তামার পাত্রের (A) উপর দিকে একটি দীর্ঘ ও প্রশস্ত নল (B) জোড়া আছে। B নলের চারিধারে একটি দীর্ঘতর আবরণ (jacket-C) আছে। C আবরণের মুখে এক কর্ক (D) আটা আছে। এই কর্কের মধ্য দিয়া থার্মমিটারকে (T) এমনভাবে রাখা হয় যেন কুণ্ডটি A পাত্রের জলের একটু উপরে থাকে কিন্তু জল স্পর্শ করে না কারণ ফুটন্ত জলের উষ্ণতা ষ্টীমের উষ্ণতার চেয়ে বেশী হইতে পারে এবং জল ফুটিলে পারদস্তম্ভ C আবরণের মধ্যেই থাকিয়া যায়। E দীপ জ্বালিয়া A পাত্রের জল ফুটাও। ষ্টীম (১০০°C উষ্ণতায়) B নল

৩নং চিত্র

বরাবর উপরে উঠিয়া C আবরণের মধ্যে যায় এবং তথা হইতে F নল দিয়া বাহির হইয়া যায়। আবরণের মধ্যে ষ্টীম দিবার উদ্দেশ্য—B নলে থার্মমিটারের চারিপাশের বাষ্প যাহাতে বাহিরের বায়ুর দ্বারা শীতল না হয়। M ম্যানোমিটারে দুই বাহুতে পারদের উচ্চতা দেখিয়া বাহিরের বায়ুর চাপ ও ভিতরের ষ্টীমের চাপের পার্থক্য দেখা যায়। বায়ুর চাপ ও ষ্টীমের চাপ সমান হওয়া দরকার। থার্মমিটারের পারদ বাষ্পের তাপে প্রসারিত হইয়া

নলে উপরে উঠিয়া এক জায়গায় স্থির হইলে নলের সেই জায়গায় উখা দিয়া কাট। ইহাই থার্মমিটারে উচ্চ মানবিন্দু বা স্ফুটনাঙ্ক।

(২) **উষ্ণতার স্কেল** (Scales of Temperature): দুই মান বিন্দুর মধ্যে উষ্ণতার পার্থক্য খুব বেশী। কাজেই সামান্য উষ্ণতার পার্থক্য মাপার জন্য দুই মান বিন্দুর মধ্যবর্তি স্থানকে কয়েকটি সমান অংশে ভাগ করিতে হয়। ইহাকে **স্কেল** বলে। স্কেলের এক এক অংশকে ডিগ্রি (degree) বলে। অতএব দুই বিন্দুর মধ্যে পারদের মোট আয়তন-বৃদ্ধির একটি ভগ্নাংশ দ্বারা এক ডিগ্রি

৪নং চিত্র

উষ্ণতা মাপা হয়। আবার পারদস্তম্ভের আয়তন = নলের ভিতরকার আয়তন = $\pi r^2 l$. এখানে নলটির ব্যাস ($2r$) সর্বত্র সমান হইলে এক ডিগ্রির উষ্ণতা পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য l দিয়া মাপা হয়।

থার্মমিটারে **তিন** রকম স্কেল ব্যবহার করা হয়:

(ক) **ফারেনহিট** (Fahrenheit): ইহাতে হিমাঙ্ককে ৩২° এবং স্ফুটনাঙ্ককে ২১২° ধরিয়া দুই মান বিন্দুর মধ্যবর্তি স্থানকে ১৮০° সমান ডিগ্রিতে ভাগ করা হয়। ∴ ১ ডিগ্রি = পারদের মোট বিস্তৃতির $\frac{1}{180}$ ভাগ। ইহা ডাক্তার, আবহবিদ্ ও ইঞ্জিনিয়ারগণ ব্যবহার করেন। এই স্কেলে লবণ ও বরফের মিশ্রণের (Freezing mixture) উষ্ণতাকে O° ধরা হয়।

(খ) **সেণ্টিগ্রেড** (Centigrade): ইহাতে হিমাঙ্ককে O° এবং স্ফুটনাঙ্ককে ১০০° ধরিয়া দুই মান বিন্দুর মধ্যবর্তি স্থানকে ১০০° সমান ডিগ্রিতে ভাগ করা হয়। ∴ ১ ডিগ্রি = পারদের মোট বিস্তৃতির $\frac{1}{100}$ ভাগ। ইহা বৈজ্ঞানিক কার্যে ব্যবহৃত হয়।

(গ) **রয়মার** (Reaumur): ইহাতে হিমাঙ্ককে O° ও স্ফুটনাঙ্ককে ৮০° ধরিয়া দুই মান বিন্দুর মধ্যবর্তি স্থানকে ৮০ সমান ডিগ্রিতে ভাগ করা হয়।

∴ ১ ডিগ্রি = পারদের মোট বিস্তৃতির $\frac{১}{৮০}$ ভাগ। ইহা রাশিয়ায় ব্যবহৃত হয়। প্রত্যেক স্কেলে হিমাঙ্কের নীচে ও স্ফুটনাঙ্কের উপরে সমানভাবে অংশাঙ্কন করা হয়। রমমার ও সেন্টিগ্রেড স্কেলে হিমাঙ্কের নীচের ডিগ্রিগুলিকে ও ফারেনহিট স্কেলে হিমাঙ্কের নীচে ৩২° ডিগ্রির পর ডিগ্রিগুলি ঋণাত্মক (negative) হয়। নলের গায়ে মোম দিয়া মোমে দাগ কাটিতে হয় তৎপর দাগের উপর Hydrofluoric acid দিতে হয়। ইহাতে কাচের গায়ে দাগ কাটিয়া যায়।

(৩) **স্কেলের তুলনা** ঃ ১০০°C = ১৮০°F = ৮০°R. ∴ ১°C = $\frac{৯}{৫}$°F = $\frac{৪}{৫}$°R.

মনে কর C, F ও R যথাক্রমে তিনটি স্কেলে কোন এক নির্দিষ্ট উষ্ণতার মান, অতএব হিমাঙ্ক ও এই উষ্ণতার মধ্যে ডিগ্রির সংখ্যা যথাক্রমে C, F − ৩২ ও R। ইহারা দৈর্ঘ্যে সমান (৪নং চিত্র)। মনে কর এই দৈর্ঘ্যই = BA। আবার হিমাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্কের মধ্যে ডিগ্রির সংখ্যা যথাক্রমে ১০০, ১৮০, ৮০। ইহারা দৈর্ঘ্যে সমান। মনে কর এই দৈর্ঘ্য = BC

$$\therefore \frac{BA}{BC} = \frac{F - ৩২}{১৮০} = \frac{C}{১০০} = \frac{R}{৮০} \text{ বা } \frac{F - ৩২}{৯} = \frac{C}{৫} = \frac{R}{৪} \quad \cdots(১)$$

(৪) **থার্মমিটার নির্মাণে সতর্কতা** ঃ (ক) প্রতি ডিগ্রি সমান উষ্ণতা দেখায় এবং ইহা পারদের সমান আয়তন-বৃদ্ধির দ্বারা মাপা হয়। আবার আয়তন-বৃদ্ধি পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্যের সঙ্গে সমানুপাতিক হয় যদি নলের ব্যাস ($2r$) সর্বত্র সমান হয়। কাজেই নলটি সমান ব্যাসের হওয়া দরকার। (খ) যাহাতে তাপ পরীক্ষাধীন পদার্থ হইতে পারদে দ্রুত যাইতে পারে তজ্জন্য কুণ্ডের কাচ পাতলা হওয়া দরকার। (গ) কুণ্ডটি বড় হইলে ইহাতে বেশী পারদ ধরিবে। তাপ প্রয়োগে ইহার বিস্তৃতির পরিমাণও বাড়িবে। থার্মমিটারে ডিগ্রিগুলি বেশী দূরে দূরে অবস্থিত হইবে। ইহাতে উষ্ণতার সূক্ষ্ম পার্থক্য ভালভাবে বোঝা যাইবে। কিন্তু বড় কুণ্ডের বেশী পারদ উত্তপ্ত হইতে বেশী সময় লইবে এবং ইহা পরীক্ষাধীন পদার্থ হইতে বেশী তাপ গ্রহণ করিবে। ইহাতে পরীক্ষাধীন পদার্থের উষ্ণতা কমিয়া যাইবে। (ঘ) নলটির রন্ধ্র যত সূক্ষ্ম ও দীর্ঘ হইবে পারদ সম্প্রসারিত হইয়া তত দীর্ঘতর স্থান অধিকার করিবে। (ঙ) থার্মমিটারের সম্ভবমত বেশী অংশ পদার্থের

সংস্পর্শে রাখিতে হয়। (চ) নল প্রস্তুত হইলে কুণ্ডকে শীতল হইতে যথেষ্ট সময় দিয়া অংশাঙ্কন করিতে হয় নচেৎ হিমাঙ্ক বাড়িয়া যায়।

(৫) **চাপ-সংশোধন** (Pressure Corrections) ঃ যখন বায়ুর চাপ সাধারণ অর্থাৎ ৭৬০ মিঃ মিঃ তখন জলের স্ফুটনাঙ্ক ১০০° সেন্টিগ্রেড হয়। সাধারণ বায়ুর চাপের কাছাকাছি ২৬'৮ মিঃ মিঃ বায়ুর চাপের হ্রাস-বৃদ্ধিতে জলের স্ফুটনাঙ্ক ১° সেন্টিগ্রেড হ্রাস-বৃদ্ধি হয়। ১৪'৯ মিঃ মিঃ বায়ুর চাপের পরিবর্তনে জলের স্ফুটনাঙ্ক ১ ফারেনহিট ডিগ্রি পরিবর্তন হয়। ইহা দেখা গিয়াছে যে চাপের অল্প পার্থক্য থাকিলে স্ফুটনাঙ্কের পরিবর্তন ও চাপের পরিবর্তন সমানুপাতিক হয়। মনে কর বায়ুর দৃষ্ট চাপ = ৭৫০ মিঃ মিঃ, সংশোধন = x.

∴ বায়ুর সাধারণ চাপ হইতে এই দৃষ্ট চাপের পার্থক্য = ৭৬০ − ৭৫০ = ১০ মিঃ মিঃ.

$$\therefore \quad x = \frac{১০^\circ}{২৬'৮} = '০৩৪^\circ$$

মনে রাখিবে যে বায়ুর দৃষ্ট চাপ সাধারণ চাপের চেয়ে কম বা বেশী হইলে দৃষ্ট স্ফুটনাঙ্কের সঙ্গে সংশোধন যোগ বা বিয়োগ করিতে হয়।

৭৬০ মিঃ মিটার বায়ুর চাপ পরিবর্তনে হিমাঙ্ক মাত্র '০০৭৩° সেন্টিগ্রেড পরিবর্তন হয় কাজেই এই চাপ সংশোধন নগণ্য।

অঙ্ক ঃ 1. **Determine the temperature having the same value on Centigrade and Farhenheit scales :** (C. U. 1942)

মনে কর এই মান = x. ∴ $\frac{x - ৩২}{৯} = \frac{x}{৫}$ বা ৫x − ১৬০ = ৯x

∴ x = −৪০. −৪০C° = −৪০F°. এই উষ্ণতায় পারদ জমিয়া যায়।

2. **Find the Centigrade and Reamur reading corresponding to to 60°F.**

$$C = \tfrac{৫}{৯}(৬০ - ৩২) = ১৫'৫৫^\circ.$$

$$R = \tfrac{৪}{৯}(৬০ - ৩২) = ১২'৪^\circ.$$

3. What is the temperature which when read on a Centigrade and Reamur scale differs by 4° ?

মনে কর সেন্টিগ্রেড স্কেলে এই উষ্ণতা $=x°$. ∴ রয়মার স্কেলে উষ্ণতা $=x$ $+৪$ বা $x-৪$. ∴ $\frac{x}{৫}=\frac{x+৪}{৪}$ বা $\frac{x}{৫}=\frac{x-৪}{৪}$.

$x=-২০°C$ বা $+২০°C$, $R=-১৬°$ বা $+১৬°$

4. If, when the temperature is 0°C, a mercury thermometer reads +0·5°C, while at 100°C it reads 100·8°C, find the true temperature when the thermometer reads 20°C assuming that the bore is cylindrical and the divisions are of uniform length.

(C. U. 1926)

দুই নির্দিষ্ট বিন্দুর মধ্যে (১০০·৮ − ·৫) = ১০০·৩ অংশ আছে।

∴ এই থার্মমিটারের প্রত্যেক অংশ = নির্ভুল সেন্টিগ্রেড থার্মমিটারের $\frac{১০০}{১০০·৩}$ অংশ।

যখন এই থার্মমিটারে ২০°C দেখা যায় তখন হিমাঙ্কের উপর (২০ − ·৫) = ১৯·৫ অংশ থাকে।

∴ প্রকৃত উষ্ণতা $=\frac{১০০}{১০০·৩}\times ১৯·৫=১৯·৪৪২°C$.

5. The freezing point of a thermometer is marked 20 and the boiling point is 150. What reading would the thermometer give for a temperature of 45°C ? C. U. 1936)

প্রদত্ত থার্মমিটারের (১৫০ − ২০ =) ১৩০ ভাগ = ১০০°C.

সুতরাং ১°C = প্রদত্ত থার্মমিটারের ১·৩°

∴ ৪৫°C = ৪৫ × ১·৩ = ৫৮·৫°

প্রদত্ত থার্মমিটারের ২০°তে o°C সূচিত হইয়াছে

অতএব ৪৫°C = প্রদত্ত থার্মমিটারে ৫৮·৫ + ২০° = ৭৮·৫°.

৭। **পারদ ব্যবহারের সুবিধা (Advantages of Mercury as a thermometric substance) :** (ক) পারদ −৩৯° সেঃ গ্রেঃ উষ্ণতায় জমিয়া যায় এবং ৩৫০° সেঃ গ্রেঃ উষ্ণতায় বাষ্প হয়। সুতরাং পারদ −৩৯° সেঃ গ্রেঃ হইতে

৩৫০° সেঃ গ্রেঃ পর্যন্ত তরল থাকে এবং এই উষ্ণতা মাপিবার জন্য ইহা ব্যবহার করা যাইতে পারে। (খ) যে কোন উষ্ণতায় পারদের প্রতি ডিগ্রি উষ্ণতার বৃদ্ধির জন্য আয়তন-বৃদ্ধির হার সমান। (গ) পারদ তাপের সুপরিবাহী (conductor) সুতরাং থার্মমিটারের সমস্ত পারদ একসঙ্গে সহজে এক উষ্ণতায় আসে। (ঘ) নির্দিষ্ট উষ্ণতায় অন্য তরলের তুলনায় পারদের আয়তন-বৃদ্ধি বেশী। সুতরাং পারদের থার্মমিটার দ্বারা উষ্ণতা সূক্ষ্মভাবে মাপা যায়। (ঙ) নির্দিষ্ট উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য পারদ অল্প তাপ গ্রহণ করে। সুতরাং উষ্ণতা মাপিবার দ্রব্য হইতে থার্মমিটারের পারদ নিজে উত্তপ্ত হইবার জন্য অল্পই তাপ গ্রহণ করে। এই জন্য দ্রব্যটির তাপ বিশেষ কমে না। (চ) পারদ অস্বচ্ছ চকচকে পদার্থ সুতরাং পারদস্তম্ভের তল দেখা সহজ। (ছ) পারদ কাচ ভিজায় (wet) না সুতরাং উষ্ণতা কমিবার সময় পারদস্তম্ভ নামিয়া আসে কিন্তু কাচের গায়ে একটু পারদও লাগিয়া থাকে না, সবটাই কুণ্ডে ফিরিয়া যায়। (জ) পারদ সহজেই বিশুদ্ধ অবস্থায় পাওয়া যায়। (ঝ) পারদ কম উদ্বায়ী (less volatile) সুতরাং পারদের উপর পারদের বাষ্প কমই থাকে।

৮। **কোহল ব্যবহার:** (ক) পারদের পরিবর্তে থার্মমিটারে কখন কখন কোহল (alcohol) ব্যবহার করা হয়। কোহলের কতকগুলি সুবিধা ও অসুবিধা আছে।

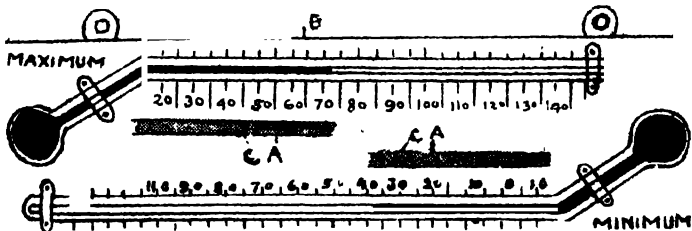
(১) **সুবিধা:** (ক) কোহল –১৩০°C উষ্ণতায় জমে সুতরাং পারদের চেয়ে কোহল ব্যবহারে নিম্নতর উষ্ণতা মাপা সুবিধাজনক। (খ) নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোহলের আয়তন-বৃদ্ধি পারদের চেয়ে অনেক বেশী সুতরাং পারদ থার্মমিটারের চেয়ে কোহল থার্মমিটার বেশী সুবেদী (sensitive) হয়। (গ) কোহল অপেক্ষা পারদ ১৭ গুণ ভারী পদার্থ সুতরাং নির্দিষ্ট আয়তনের পারদ অপেক্ষা কোহল একই উষ্ণতায় উত্তপ্ত হইতে কম তাপ গ্রহণ করিবে যদিও কোহলের তাপগ্রহিতা (thermal capacity) বেশী। (ঘ) কোহল হাল্কা পদার্থ ও কাচ ভিজায় সুতরাং খুব সূক্ষ্ম রন্ধ্র বিশিষ্ট নলে কোহল সহজে সরিতে পারে, পারদ থাকিয়া থাকিয়া (jerky way) সরে।

(২) **অসুবিধা:** কোহল ৭৮° সেঃ উষ্ণতায় ফুটে সুতরাং কোহল-থার্মমিটার দ্বারা উচ্চ উষ্ণতা মাপা যায় না। (খ) পারদের চেয়ে কোহলের তাপ

পরিবহন ক্ষমতা কম। (গ) কোহলের আয়তন-বৃদ্ধির হার সমান নয়। এই হার উষ্ণতার সঙ্গে বাড়ে। একই উষ্ণতায় রাখিয়া পারদ থার্মমিটারের সঙ্গে তুলনা করিয়া কোহল থার্মমিটার অংশাঙ্কন করিতে হয়। (ঘ) কোহল খুব বেশী উদ্বায়ী। ইহা শীঘ্র শীঘ্র বাষ্পীভূত হইয়া নলের উপর অংশে জমে। (ঙ) কোহল স্বচ্ছ পদার্থ সুতরাং দেখিবার সুবিধার জন্য ইহাতে রং মিশান হয়। (চ) কোহল কাচ ভিজায় সুতরাং নল দিয়া নামিবার সময় কাচের গায়ে লাগিয়া যায়।

৯। জল থার্মমিটারের অসুবিধা: জলের আয়তন-বৃদ্ধির হার বিশেষতঃ 0°C হইতে ১০০C পর্যন্ত সমান নয়। জল তাপ কুপরিবাহী, কাচ ভিজায়, জলের তাপ-গ্রহিতা বেশী।

১০। গরিষ্ঠ ও লঘিষ্ঠ থার্মমিটার (Maximum ও Minimum Thermometer): যে থার্মমিটারে কোন সময়ের (যথা দিনের বা রাত্রের মধ্যে) সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন উষ্ণতা স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থায় (automatically) মাপা যায় তাহাকে যথাক্রমে **গরিষ্ঠ** ও **লঘিষ্ঠ** থার্মমিটার বলে। আবহনির্ণয়ে ও কৃষিকার্যে ইহারা ব্যবহৃত হয়।

(ক) **গরিষ্ঠ থার্মমিটার:** পারদ থার্মমিটারের নলে পারদের উপরে দুই প্রান্তে মাথাযুক্ত ষ্টীলের একটি ছোট পিন A থাকে। পিনটি সূচকের (index) কাজ করে। থার্মমিটারকে একটি কাঠের বা ধাতব ফ্রেমে (B)

৫নং চিত্র

অনুভূমিক অবস্থায় রাখা হয়। প্রথমে বাহির হইতে শক্তিশালী চুম্বকের সাহায্যে পিনকে এমন জায়গায় আনা হয় যাহাতে পিনের C প্রান্ত পারদের গায়ে লাগে।

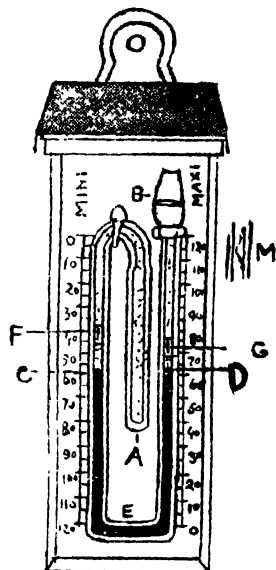
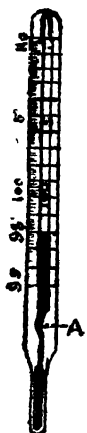
উষ্ণতা বাড়িবার সঙ্গে সঙ্গে পারদ আয়তনে বাড়িয়া যায় এবং পারদের উত্তল (convex) পৃষ্ঠ পিনকে সম্মুখদিকে (চিত্রে ডান দিকে) ঠেলিয়া দেয়। উষ্ণতা কমিবার সময় পারদ সংকুচিত হয় বটে কিন্তু ষ্টীলের ও পারদের মধ্যে কোন আসঞ্জন (adhesion) না থাকার দরুণ পিন পারদের পিছনে পড়িয়া থাকে। পিনের পারদের দিকের C প্রান্ত সর্বোচ্চ উষ্ণতা নির্দেশ করে।

(খ) **লঘিষ্ঠ থার্মমিটার:** ইহাতে কোহল ব্যবহৃত হয়। কোহলের ভিতরে দুই প্রান্তে মাথাযুক্ত একটি খুব ক্ষুদ্র কাচ নল A থাকে। A নলে একটু রঙিন জল থাকে। ইহা সূচকের কাজ করে। ইহাকেও কাঠের ফ্রেমে অনুভূমিক অবস্থায় রাখা হয়। প্রথমে থার্মমিটারকে কাত করিয়া নলকে এমন অবস্থায় আন যাহাতে ইহার C প্রান্ত কোহলের বহির্তলের সংস্পর্শে থাকে এবং অপর প্রান্ত কোহলের মধ্যে থাকে। উষ্ণতা যেমন কমে কোহলও সংকুচিত হয় এবং কোহলের অবতল (concave) পৃষ্ঠ পৃষ্ঠটানের (surface tension) জন্য নলকে পশ্চাতের (চিত্রে ডান দিকে) দিকে টানিয়া আনে এবং সর্বনিম্ন উষ্ণতায় রাখিয়া দেয়। উষ্ণতা বাড়িবার সঙ্গে সঙ্গে কোহল আয়তনে বাড়িয়া সম্মুখের দিকে অগ্রসর হয়। নল পশ্চাতে পড়িয়া থাকে। পিনের সম্মুখ দিকের প্রান্ত C সর্বনিম্ন উষ্ণতা নির্দেশ করে।

(গ) ***সিক্স থার্মমিটার*** (Six's Thermometer)**:** ইহা লঘিষ্ঠ ও গরিষ্ঠ থার্মমিটারেব সমবায়ে গঠিত। এই যন্ত্রে একটি সরু রন্ধ্র বিশিষ্ট U আকৃতির নল খাড়াভাবে ফ্রেমের গায়ে আটকান থাকে। নলের দুই প্রান্তে ছোট কুণ্ড B ও একটি দীর্ঘ কুণ্ড A আছে। A কুণ্ডের সবটায় ও নলে C পর্যন্ত কোহল আছে। এই কোহলের আয়তনের হ্রাস-বৃদ্ধি দ্বারা উষ্ণতা মাপা হয়। D নলের ও B কুণ্ডের খানিকটায় কোহল আছে। B কুণ্ডের বাকি অংশে কোহলের বাষ্প থাকে সুতরাং তাপে D নলের ও B কুণ্ডের কোহল বাড়িয়া এই জায়গা দখল করে। নলের CED অংশে পারদ রাখিয়া দুই দিকের কোহলকে পৃথক করা হয়। এই পারদস্তম্ভ সূচকের (index) কাজ করে। BD নলে কোহল দেওয়ার উদ্দেশ্য দুই বাহুতে পারদের প্রান্তের উপর একই চাপ রাখা। পারদ

স্তম্ভের দুই প্রান্তের উপরে দুইটি ষ্টীলের হাল্‌কা সূচক F ও G ভাসে। দুইটি স্প্রীং (M) সূচক দুইটিকে নলের গায়ে চাপিয়া ধরে। ঘর্ষণে ইহা নলের গায়ে আট্‌কাইয়া যায়। বাহির হইতে চুম্বকের আকর্ষণে ষ্টীল সূচক দুইটিকে সরাইয়া পারদের গায়ে লাগান হয়। নলের দুই বাহুতে দুইটি স্কেল আছে। C বাহুর স্কেলে উপর হইতে নীচের দিকে অংশাঙ্কন বাড়ে এবং D বাহুতে স্কেলে নীচ হইতে উপর দিকে অংশাঙ্কন বাড়ে।

৬নং চিত্র

উষ্ণতা বাড়িবার সঙ্গে সঙ্গে A কুণ্ডের কোহল আয়তনে বাড়িয়া পারদস্তম্ভের C প্রান্তকে নীচে ঠেলে। সুতরাং D প্রান্ত উপরে উঠিয়া যায়, সঙ্গে সঙ্গে G সূচককে উপরে লইয়া যায়। যখন উষ্ণতা কমে তখন D প্রান্ত নামিয়া আসে। কিন্তু G সূচক স্প্রীংএর জন্য পশ্চাতে আট্‌কাইয়া থাকে এবং পারদস্তম্ভের C প্রান্ত উপরে উঠিয়া যায়, সঙ্গে সঙ্গে F সূচককে উপরে ঠেলিয়া তোলে। যখন উষ্ণতা পুনরায় বাড়ে তখন F সূচককে পশ্চাতে ফেলিয়া C প্রান্ত নামে, সুতরাং G ও F সূচকের নিম্নপ্রান্ত যথাক্রমে গরিষ্ঠ ও লঘিষ্ঠ উষ্ণতা নির্দেশ করে। ইহা আবহ নির্ণয়ে ব্যবহৃত হয়।

১১। ডাক্তারি থার্মমিটার (Clinical Thermometer): ইহা এক প্রকার সুবেদী গরিষ্ঠ থার্মমিটার। ইহাতে মানুষের জ্বর দেখিবার জন্য ৯৫° হইতে ১১০° ফাঃ পর্যন্ত অংশাঙ্কন করা থাকে। প্রত্যেক ডিগ্রি আবার পাঁচভাগে ভাগ করা থাকে। ৯৮·৪° ডিগ্রিতে একটি চিহ্ন থাকে। ইহাই স্বাস্থ্যবান মানুষের দেহের স্বাভাবিক উষ্ণতা। এই থার্মমিটারে কুণ্ডের একটু উপরে নলের রন্ধ্রকে আগুণে গলাইয়া নলকে টানিয়া নলের সেই অংশে ভাঁজ A

৭নং চিত্র

(Constriction) দেওয়া হয়। দেহের সংস্পর্শে থার্মমিটার রাখিলে কুণ্ডের পারদ দেহের তাপে আয়তনে বাড়ে। এই বৃদ্ধির বল (expansive force) পারদকে সরু অংশের মধ্য দিয়া জোরে নলের উপরে ঠেলিয়া দেয়। থার্মমিটার দেহ হইতে সরাইয়া লইলে পারদস্তম্ভ দুই অংশে ভাগ হইয়া যায়। সরু অংশের নীচের পারদ সংকুচিত হইয়া কুণ্ডে চলিয়া যায় কিন্তু উপরের পারদ সরু অংশের ভিতর দিয়া কুণ্ডের দিকে আসিতে পারে না। উপরের অংশের শেষ প্রান্ত গরিষ্ঠ উষ্ণতা নির্দেশ করে। কুণ্ডটি নীচের দিকে ধরিয়া থার্মমিটারকে ঝাঁকানি দিলে উপরের পারদ কুণ্ডে চলিয়া যায়। থার্মমিটারে এইরূপ ব্যবস্থা না থাকিলে দেহ হইতে থার্মমিটার সরাইয়া লইলেই বায়ুর সংস্পর্শে আসিয়া থার্মমিটারের উষ্ণতা বদলাইয়া যাইত।

১২। **উচ্চ উষ্ণতার মাপ** (Measurement of High temperatures): পারদ থার্মমিটারে নলে পারদের উপরে argon বা nitrogen প্রভৃতি নিষ্ক্রিয় গ্যাস রাখিলে এবং কাচের নলের বদলে silica বা quartzএর নল ব্যবহার করিলে ৭৫০°C পর্যন্ত উষ্ণতা মাপা যায়। এইরূপ যন্ত্রকে Pyrometer বলে। গ্যাস থার্মমিটার (পরে দেখুন) দ্বারা উচ্চ উষ্ণতা মাপা যায়।

১৩। **কতকগুলি দ্রব্যের উষ্ণতা ঃ** আর্ক আলো – ৩৪০০°C, লৌহের গলনাঙ্ক – ১৫০০°C, রক্ত – ৩৭°C, নিম্নতম উষ্ণতা – –২৭৩°C.

প্রশ্ন

1. Distinguish between quantity of heat and temperature. (C. U. 1937; P. U. 1921; D. U. 1931)

2. Of two thermometers one has the larger bulb and the other the finer bore. Explain the advantages and disadvantages in each case. (C. U. 1941)

3. Describe the construction of a mercury thermometer and state how it is graduated. (C. U. 1919, '26, '32, '43, '45; P. U. 1932)

Is it necessary that the bore should be uniform? If so, why?

4. How would you test the accuracy of the fixed points of a mercury thermometer? Explain the conditions which contribute to its sensitiveness. (C. U. 1937)

5. Describe any two forms of maximum and minimum thermometers. (C. U. 1923)

6. Describe with a neat diagram Six's thermometer and discuss the principle on which it works. State some of its uses. (C. U. 1942)

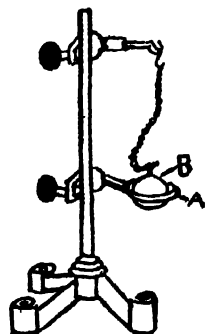
7. Determine the temperature which is indicated by the same number both on the centigrade and on the Farhenheit scale. (C. U. 1942).

8. Describe a clinical thermometer in detail with a diagram. (C. U. 1923, '37).

9. State the relative advantages of mercury and alcohol as a thermometric substance (C. U. 1919, '41 : All. 1916).

কঠিনের প্রসারণ (Expansion of Solids)

১৪। **কঠিনের প্রসারণ :** প্রায় সকল পদার্থ তাপ-প্রয়োগে প্রসারিত হয়। কঠিনও প্রসারিত হয়।

পরীক্ষা : (ক) একই ধাতুর একটি আংটা A ও বল B লও। বল ও আংটা একই উষ্ণতায় থাকিলে বলটি আংটার গা ঘেসিয়া নীচে চলিয়া যায়। কেবল বলটিকে উষ্ণ করিলে উহা আয়তনে প্রসারিত হয়। উষ্ণ বল আংটার উপর রাখিলে আংটার মধ্য দিয়া যায় না। পুনরায় ইহা শীতল হইলে আংটার মধ্য দিয়া চলিয়া যায়। ইহাকে Gravesand's আংটা বলে। (খ) বিভিন্ন কঠিন একই উষ্ণতার প্রসরে বিভিন্ন হারে প্রসারিত হয় :—লোহা ও পিতলের দুইটি সমান আকারের দণ্ড এক সঙ্গে পেরেক দিয়া আঁট (rivet)। সাধারণ উষ্ণতায় ইহা সোজা থাকে। বেশী উষ্ণ করিলে ইহা বাঁকিয়া যায়। পিতলের দণ্ড বাঁকের বাহিরের দিকে থাকে। শীতল করিলে পিতলের দণ্ড ভিতরের দিকে থাকে। অর্থাৎ পিতল লোহার চেয়ে বেশী প্রসারণ বা সংকোচন প্রবণ।

৮নং চিত্র

কঠিন তাপে দৈর্ঘ্যে, ক্ষেত্রফলে ও আয়তনে প্রসারিত হয়। তরল ও গ্যাস কেবল আয়তনে বাড়ে। Quartz, silica এবং nickel ও ইস্পাতের সংকর ধাতু (ইহাকে Inver বলে) তাপ-প্রয়োগে অতি সামান্য বাড়ে। কাচ ও প্লাটিনামের প্রসারণ প্রায় সমান।

১৫। **দৈর্ঘ্য-প্রসারাঙ্ক** (Coefficient of linear expansion): দৈর্ঘ্য বিস্তৃতি তিনটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে:—(ক) প্রাথমিক দৈর্ঘ্য, (খ) উষ্ণতা-বৃদ্ধির প্রসর ও (গ) পদার্থের প্রকৃতি।

O°C উষ্ণতায় প্রতি একক দৈর্ঘ্যে প্রতি একক সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য যে দৈর্ঘ্য প্রসারণ হয় তাহাকে দৈর্ঘ্য-প্রসারাঙ্ক বলে। লোহার দৈর্ঘ্য-প্রসারাঙ্ক '০০০০১২ বলিলে বুঝা যায় যে O°C উষ্ণতায় এক সেন্টিমিটার, এক গজ বা এক ফুট দীর্ঘ লোহার দণ্ড ১°C উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে '০০০০১২ সেন্টিমিটার বা গজ বা ফুট বাড়িবে অর্থাৎ ইহার দৈর্ঘ্য ১'০০০০১২ সেঃ মিঃ বা ফুট বা গজ হইবে।

মনে কর O°C ও t°C উষ্ণতায় একটি দণ্ডের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে l_0 ও l_t হয় এবং দৈর্ঘ্য-প্রসারাঙ্ক α(আল্‌ফা) হয়।

∴ ১°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য প্রসারণ $=\dfrac{l_t-l_0}{t}$

∴ প্রতি একক দৈর্ঘ্যে ১°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য প্রসারণ $=\dfrac{l_t-l_0}{t\times l_0}=\alpha$ ···(২)

$$\therefore\ l_t=l_0(1+\alpha t)\cdots\cdots(৩)$$

কথায়, $\text{দৈর্ঘ্য-প্রসারাঙ্ক}=\dfrac{\text{দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি}}{\text{O°C উষ্ণতায় দৈর্ঘ্য}\times\text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}$

এই ভগ্নাংশে হরে ও লবে দৈর্ঘ্যের মান থাকায় ইহা অনুপাত (ratio) মাত্র। সুতরাং দৈর্ঘ্য প্রকাশের জন্য হরে ও লবে একই একক (সেন্টিমিটার বা গজ, বা ফুট) ব্যবহার করিলে α এর মানের পরিবর্তন হয় না কিন্তু উষ্ণতার স্কেল বদলাইলে α এর মানের পরিবর্তন হয়। কারণ ভগ্নাংশের কেবল হরেই উষ্ণতার পরিমাণ থাকে। $\frac{5}{9}$°C = ১°ফাঃ সুতরাং ১° ফাঃ উষ্ণতায় লোহার বৃদ্ধি হইবে '০০০০১২ × $\frac{5}{9}$ = '০০০০০৬৭।

১৬। **বিভিন্ন উষ্ণতায় প্রসারাঙ্ক :** মনে কর $O°C$, $t_1°C$ ও $t_2°C$ উষ্ণতায় যথাক্রমে দণ্ডের দৈর্ঘ্য l_0, l_1 ও l_2 এবং t_1 অপেক্ষা t_2 বড়।

$$\frac{l_2}{l_1}=\frac{(1+\alpha t_2)}{(1+\alpha t_1)}=(1+\alpha t_2)(1+\alpha t_1)^{-1}=(1+\alpha t_2)(1-\alpha t_1)$$

$=1+(t_2-t_1)\alpha$ (α এর উচ্চতর বর্গ না ধরিয়া)

$$\therefore \quad \alpha=\frac{l_2-l_1}{l_1(t_2-t_1)}.$$

১৭। **ক্ষেত্রফল ও আয়তন প্রসারাঙ্ক** (**Coefficient of superficial and cubical expansion**) **:** $O°C$ উষ্ণতায় যে ক্ষেত্রফল বা আয়তন থাকে তাহার প্রতি একক ক্ষেত্রফল বা আয়তনে প্রতি একক সেন্টিগ্রেড উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য যতটা ক্ষেত্রফল বা আয়তন বাড়ে তাহাকে ক্ষেত্রফল বা আয়তন প্রসারাঙ্ক বলে।

মনে কর $O°C$ ও $t_1°C$ উষ্ণতায় কোন দ্রব্যের ক্ষেত্রফল বা আয়তন যথাক্রমে S_o, S_t এবং V_o, V_t.

$\therefore$ ক্ষেত্রফল প্রসারাঙ্ক $=\beta$ (বিটা) $=\dfrac{S_t-S_o}{S_o\times t}$

$=\dfrac{\text{ক্ষেত্রফলের বৃদ্ধি}}{O°C \text{ উষ্ণতায় ক্ষেত্রফল} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}$

$$\therefore \quad S_t=S_o(1+\beta t)\cdots\cdots(8)$$

$\therefore$ আয়তন প্রসারাঙ্ক $=\gamma$ (গামা) $=\dfrac{V_t-V_o}{V_o\times t}$

$=\dfrac{\text{আয়তনের বৃদ্ধি}}{O°C \text{ উষ্ণতায় আয়তন} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}$

$$\therefore \quad V_t=V_o(1+\gamma t)\cdots\cdots(৫)$$

১৮। **তিনটি প্রসারাঙ্কের সম্পর্ক :** (ক) α ও β র সম্পর্ক : মনে কর একটি সমস্বত্ব (homogeneous) চার কোণা (square) তলের (surface) $o°C$ উষ্ণতায় প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য $=l_o$। মনে কর $t°C$ উষ্ণতায় প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য সমভাবে বৃদ্ধি পাইয়া l_t হয়।

$\therefore$ O°C উষ্ণতায় তলের ক্ষেত্রফল $S_o = l_o^2$, t°C উষ্ণতায় তলের ক্ষেত্রফল $S_t = l_t^2$.

কিন্তু $l_t = l_o(1+\alpha t)$ $\therefore$ $S_t = l_t^2 = \{l_o(1+\alpha t)\}^2$

$= l_o^2(1+2\alpha t+\alpha^2 t^2)$ (যেহেতু α খুব ক্ষুদ্র সেইজন্য $\alpha^2 t^2$ আরও ; ক্ষুদ্র ইহা বাদ দিয়ে)

$$S_t = l_o^2(1+2\alpha t) \cdots\cdots (ক)$$

(৪) হইতে $S_t = S_o(1+\beta t) \cdots\cdots\cdots (খ)$

$\therefore$ (ক) ও (খ) হইতে $1+\beta t = 1+2\alpha t$ $(\because l_o^2 = S_o)$

$$\therefore \quad \beta = 2\alpha \cdots\cdots (৬)$$

অর্থাৎ ক্ষেত্রফলের প্রসারাঙ্ক $= 2\times$ দৈর্ঘ্যের প্রসারাঙ্ক।

(খ) **α ও γ এর সম্পর্ক :** মনে কর O°C উষ্ণতায় একটি ঘনকের প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য $= l_o$ এবং t°C উষ্ণতায় প্রত্যেক বাহু সমভাবে বৃদ্ধি পাইয়া l_t দৈর্ঘ্য প্রাপ্ত হয়। মনে কর O°C ও t°C উষ্ণতায় ঘনকের আয়তন যথাক্রমে V_o ও V_t.

$l_t = l_o(1+\alpha t)$ $\therefore$ $V_o = l_o^3$; $V_t = l_t^3 = \{l_o(1+\alpha t)\}^3$

$= l_o^3(1+3\alpha t+3\alpha^2 t^2+\alpha^3 t)^3 = V_o(1+3\alpha t)$

$(\because$ $3\alpha^2 t^2$ ও $3\alpha^3 t^3$ অতি ক্ষুদ্র)

আমরা জানি $V_t = V_o(1+\gamma t)$ $\therefore$ $1+3\alpha t = 1+\gamma t$

$$\therefore \quad \gamma = 3\alpha \cdots\cdots (৭)$$

অর্থাৎ আয়তনের প্রসারাঙ্ক $= 3\times$ দৈর্ঘ্যের প্রসারাঙ্ক। এই সমীকরণ (equation) অনুসারে কোন পদার্থের α জানা থাকিলে β বা γ বাহির করা যায়।

একই আয়তনের একটি নিরেট ও একটি ফাঁপা বল একই উষ্ণতার প্রসরের (range of temperature) জন্য আয়তনে একই পরিমাণ বৃদ্ধি পাইবে।

১৯। **ঘনাঙ্ক ও আয়তনের প্রসারাঙ্ক (Density and coefficient of cubical expansion) :** M ভরের কোন দ্রব্যের O°C ও t°C উষ্ণতায় আয়তন ও ঘনাঙ্ক যথাক্রমে V_o, V_t এবং ρ_o, ρ_t। আমরা জানি ভর = আয়তন × ঘনাঙ্ক।

$$\therefore \quad M = \rho_o V_o = V_t \rho_t \quad \therefore$$

$$V_o \rho_o = V_t \rho_t = V_o (1 + \gamma t) \times \rho_t$$

$$\therefore \quad \rho_o = \rho_t (1 + \gamma t) \text{ বা } \rho_t = \rho_o (1 + \gamma t)^{-1} = \rho_o (1 - \gamma t)$$

$$\therefore \quad \rho_t = \rho_o (1 - \gamma t) \cdots (৮)$$

এই সমীকরণ দেখায় যে **উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে ঘনাঙ্ক কমিয়া যায়।**

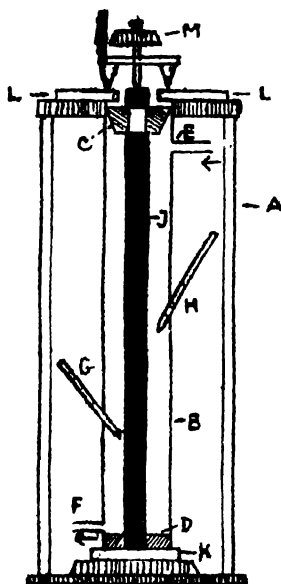
আবার $\gamma = \dfrac{\rho_o - \rho_t}{\rho_o \times t} \cdots\cdots (৯)$

মনে কর উষ্ণতা t_1 হইতে t_2তে বাড়ে এবং ঘনাঙ্ক যথাক্রমে ρ_1 ও ρ_2 হয়।

$$\therefore \quad \gamma = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho (t_2 - t_1)} \cdots\cdots (১০)$$

অর্থাৎ যদি দুইটি উষ্ণতায় ঘনাঙ্ক জানা থাকে তবে প্রকৃত প্রসারাঙ্ক বাহির করা সহজ।

২০। **দৈর্ঘ্য-প্রসারাঙ্ক নির্ণয় ; Pullinger's যন্ত্র :** এই যন্ত্রে দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি Spherometer দিয়া মাপা হয়। **যন্ত্রের বিবরণ :** এই যন্ত্রে একটি কাঠের ফ্রেমে (A) খাড়াভাবে একটি ষ্টীম-কঞ্চুক বা আবরণ B (steam jacket) থাকে। এই আবরণের দুই প্রান্ত রবার কর্ক C ও D দিয়া আঁটা আছে। আবরণের গায়ে চারিটি ছিদ্র আছে। E ছিদ্র দিয়া ষ্টীম ঢোকে, F ছিদ্র দিয়া বাহির হয়। অপর দুইটি ছিদ্রে G ও H থার্মমিটার রাখা হয়। যে পদার্থের α বাহির করিতে হইবে সেই পদার্থের প্রায় এক মিটার দীর্ঘ দণ্ড J কর্কের মধ্য দিয়া খাড়াভাবে আবরণের মধ্যে দাঁড় করান থাকে। দণ্ডের নিম্নপ্রান্ত ফ্রেমে আবদ্ধ একটি কাচের পাতের (K) উপর থাকে। উপর

প্রান্ত ফ্রেমের মাথায় স্থাপিত অপর একটি অনুভূমিক কাচের পাতের (L) মধ্যস্থ ছিদ্র পর্যন্ত যায়। দণ্ডটি নিম্নদিকে কাচের পাতে দৃঢ়ভাবে আট্‌কান থাকে বলিয়া বাড়িতে পারে না, কেবল উপর দিকে মুক্ত থাকে বলিয়া এই দিকে বাড়িতে পারে। উপরের কাচের পাতকে বন্ধনী সাহায্যে আটকান হয়। একটি spherometer Mএর তিনটি পা (legs) L কাচপাতের উপর রাখা হয় এবং ইহার মধ্য-পা স্ক্রু সাহায্যে নামাইয়া J দণ্ডের উপর প্রান্তের উপর আনা হয়।

৯নং চিত্র

পরীক্ষা: দণ্ডকে স্কেলের সাহায্যে সূক্ষ্মভাবে মাপ। B আবরণের মধ্যে দণ্ডকে উপরোক্ত প্রণালীতে রাখ। কিছুক্ষণ পর দুই থার্মমিটারের গড় উষ্ণতা লও। স্ক্রু নীচের দিকে ঘুরাইয়া spherometer-এর মধ্য-পাকে দণ্ডের উপর প্রান্তে আল্‌গা ভাবে স্পর্শ করাও। Spherometerএর দুইটি স্কেলের দাগ পড়িয়া রাখ। এখন স্ক্রু উপর দিকে ঘুরাইয়া মধ্য-পাকে উপর দিকে তুলিয়া রাখ যাহাতে দণ্ডের উপর প্রান্ত স্বাধীনভাবে বাড়িতে পারে। আবরণের ভিতর ষ্টীম ঢোকাও যতক্ষণ না থার্মমিটার দুইটির উষ্ণতা স্থির হয়। কিছুক্ষণ অপেক্ষা কর। দুই উষ্ণতার গড় লও। স্ক্রু নীচের দিকে ঘুরাইয়া Spherometerএর মধ্য-পা দণ্ডের উপর প্রান্ত আবার স্পর্শ করাও। আবার Spherometerএ দুই স্কেলের দাগ পড়। দুই পঠনের পার্থক্য = দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি $= x$ সেঃ মিঃ। যদি প্রাথমিক দৈর্ঘ্য $= l$, প্রাথমিক উষ্ণতা $= t$°C ও শেষ উষ্ণতা $= t_1$°C হয়

$$l(t_1 - t)$$

সাবধানতা (Precaution)**:** (ক) **কঠিনের দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি খুব কম কাজেই** খুব নির্ভুলতার সঙ্গে Spherometer ব্যবহার করা দরকার। (খ) শেষ উষ্ণতা কয়েক মিনিট ধরিয়া স্থির হইতে দেওয়া দরকার। (গ) আবরণের বাহিরে দণ্ডের খুব সামান্য অংশ রাখা দরকার।

২১। **দৈর্ঘ্য-প্রসারাঙ্ক:** (0°C ও ১০০°C এর মধ্যে গড় প্রসারাঙ্ক): লোহা—০'০০০০১১৭, কাচ—০'০০০০০৮৯, প্লাটিনাম—০'০০০০০৮৯. Invar—০'০০০০০০৯, ইস্পাত—০'০০০০১১, দস্তা—০'০০০০২৯৮, পিতল—০'০০০০১৮, তামা—০'০০০০১৬৮।

২২। **কঠিনের প্রসারণের দৃষ্টান্ত:** (ক) **উপকার:** (১) লোহার বেড়ের (tyre) ব্যাস চাকার ব্যাসের চেয়ে একটু ছোট রাখা হয়। প্রথমে বেড়কে খুব গরম করিয়া প্রসারিত করা হয় এবং বেড়কে উষ্ণ অবস্থাতেই চাকার গায়ে লাগাইয়াই জলে ঢালিয়া শীতল করা হয়। ইহাতে বেড় সংকুচিত হইয়া চাকার গায়ে আটিয়া বসে। (২) বোতলের কাচের ছিপি খুলিবার সময়ে বোতলের মুখটা গরম করিয়া প্রসারিত করিলে ছিপি সহজে খুলিয়া যায়। (৩) অগ্নি-সঙ্কেতে পিতল ও লোহার যুক্ত-দণ্ড থাকে। আগুন লাগিলে দণ্ড বাঁকিয়া যায় এবং একটি তড়িৎ-বর্তনী (circuit) সম্পূর্ণ হয় এবং তৎক্ষণাৎ সঙ্কেত ঘণ্টা বাজিয়া উঠে। এইরূপ যন্ত্রকে Thermostat বলে। (৪) তপ্ত রিভেট দ্বারা বয়লারের চাদরগুলি জুড়িয়া দেওয়া হয়। শীতল হইলে রিভেট সংকুচিত হইয়া সংযোগ স্থলকে চাপিয়া ধরে। ষ্টীম বাহির হইতে পারে না। (৫) কোন কঠিন পদার্থ প্রসারিত বা সংকুচিত হইবার সময় প্রভূত বলের উদ্ভব হয়। এক সেন্টিমিটার দৈর্ঘ্য ও এক বর্গ সেন্টিমিটার প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট লোহার তার ১°C উষ্ণতায় সংকুচিত হইলে ২০ লক্ষ গ্রাম বল প্রয়োগ করে। বাহিরের দিকে পতনোন্মুখ দেওয়ালের মধ্য দিয়া লোহার দণ্ড ঢুকাইয়া দেওয়ালের বাহিরে দণ্ডের প্রান্তে লোহার পাত ও স্ক্রু লাগান হয়। দণ্ডকে খুব উষ্ণ করিয়া স্ক্রু আঁটিয়া দেওয়া হয়। দণ্ড শীতল হইবার সময় সংকুচিত হয় এবং সংকোচনের বল (force of contraction) দেওয়াল দুইটিকে ভিতরের দিকে টানিয়া আনে।

(খ) **বিপদ এড়াইবার** জন্য নিম্নলিখিত বিষয়ে **সাবধানতা** অবলম্বন

করা হয়। (১) সব সময়ে বিস্তৃতির জন্য ব্যবস্থা রাখা হয়ঃ পর পর দুই রেলের মধ্যে একটু ফাঁক রাখা হয়। চাকার ঘর্ষণের তাপে ও গ্রীষ্মে সূর্য্যের তাপে রেলগুলি এই ফাঁকের মধ্যে বিস্তৃতি লাভ করে। রেলগুলি পরস্পর ঠেলিয়া বাঁকিয়া যায় না। এখানে কেবল দৈর্ঘ্য প্রসারণ বিবেচনা করা হয়। লোহার দৈর্ঘ্য প্রসারাঙ্কের উপর এই ফাঁকের পরিমাণ নির্ভর করে। সাধারণতঃ দুই রেলের মধ্যে সিকি ইঞ্চি ফাঁক থাকে। ট্রাম লাইনে পর পর রেলগুলি ঝাল দিয়া জোড়া থাকে কারণ অবিচ্ছিন্ন বৈদ্যুতিক প্রবাহ পাইবার জন্য ফাঁক রাখা চলে না। রেলগুলি মাটির মধ্যে গাঁথা থাকে। ইহাতে উষ্ণতার পার্থক্য কম হয়। (২) লোহার সেতু নির্মাণে girderএর প্রান্ত ও অবলম্বনের (support) মধ্যে ফাঁক রাখা হয় বা চাকা (rollers) রাখা হয়। (৩) চুল্লীর (furnace) লৌহদণ্ডের প্রান্তদ্বয়ের চারিদিকে ফাঁক রাখা হয়। নচেৎ তাপে প্রসারিত হইলে দণ্ডগুলি বাঁকিয়া যায়। (৪) অনেক সময় কাচ পাত্রে (যথা বৈদ্যুতিক আলোর বাল্‌বে) বায়ুরোধক জোড় দিবার জন্য কাচ আগুণে গলাইয়া ধাতুর তার জুড়িয়া দেওয়া হয়। কাচ ও ধাতু যদি এক হারে সংকুচিত না হয় তবে কাচ শীতল হইবার সময় জোড়ের কাছে ফাটিয়া যায়। তামা কাচ অপেক্ষা বেশী সংকুচিত হয় বলিয়া এই কাজে তামার ব্যবহার হয় না। প্লাটিনাম বা লোহা ও নিকেলের মিশ্র ধাতু এই কাজে ব্যবহৃত হয় কারণ উহাদের দৈর্ঘ্য প্রসারাঙ্ক কাচের দৈর্ঘ্য-প্রসারাঙ্কের সমান।

(গ) কাচ তাপের সুপরিবাহী নহে। কাজেই মোটা কাচ পাত্রে গরম জল ঢালিলে পাত্রের ভিতর ও বাহির এক সঙ্গে সমান হারে উত্তপ্ত হয় না এবং অসমান প্রসারণের জন্য পাত্র ফাটিয়া যায়। এই বিপদ এড়াইবার জন্য কাচ-পাত্র বা চিমনী নির্মাণের সময় বিশেষ প্রক্রিয়া অবলম্বন করিতে হয়।

(ঘ) বড় ঘড়ির দোলকে ও ছোট ঘড়ির স্প্রীংতে এমন ব্যবস্থা আছে যাহাতে তাপে দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধির দরুণ সময়ের পরিবর্তন পূরণ হইয়া যায়। নিম্নে এইরূপ ব্যবস্থার বিবরণ দেওয়া হইল।

২৩। প্রতিবিহিত দোলক (Compensated Pendulum): বড় ঘড়িতে ধাতুদণ্ড দ্বারা দোলক ঝুলান থাকে। আমরা জানি $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

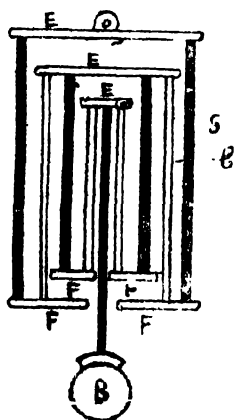
সুতরাং গ্রীষ্মকালে বা দিনে বেশী তাপে দোলকের দৈর্ঘ্য l বাড়িলে দোলকের দোলন-কাল T বাড়ে অর্থাৎ ঘড়ি ধীরে ধীরে চলে। শীতকালে বা রাত্রিতে শৈত্যে l কমিলে দোলকের দোলনকাল T কমে অর্থাৎ ঘড়ি দ্রুত চলে। বৎসরের সকল সময় যাহাতে দোলকের কার্যকরী দৈর্ঘ্য অর্থাৎ বিলম্ব-বিন্দু হইতে পিণ্ডের ভারকেন্দ্র পর্যন্ত দূরত্ব সমান থাকে দোলকে তাহার ব্যবস্থা করা হয়। এইরূপ ব্যবস্থাযুক্ত দোলককে **প্রতিবিহিত দোলক** বলে। এই দোলক ব্যবহার করিলে শৈত্যে বা উষ্ণতায় দোলকের দৈর্ঘ্যের হ্রাস-বৃদ্ধির প্রতিবিধান হয় বলিয়া সময়ের পার্থক্য হয় না। ইহা তিন প্রকারে করা হয় যথা (ক) **স্ক্রু-ব্যবস্থা :** সাধারণ-ঘড়িতে পিণ্ডের নীচে একটি স্ক্রু থাকে। গ্রীষ্মে উষ্ণতায় দোলকের দণ্ড প্রসারিত হইলে পিণ্ড নীচে নামে, ইহাতে l এর মান বাড়িয়া যায়। স্ক্রু ঘুরাইয়া পিণ্ডকে মাপ মত উপরে উঠাইতে হয় যতক্ষণ l-এর মান পূর্বের মত না হয়। শৈত্যে দণ্ড সংকুচিত হইলে স্ক্রু ঘুরাইয়া পিণ্ডকে নীচে নামাইয়া l-এর মান বাড়াইতে হয়। এই ব্যবস্থা স্বয়ংক্রিয় (automatic) নহে বলিয়া অসুবিধাজনক।

(খ) **Harrison's Grd-iron দোলক : নীতি :** মনে কর AB ও CD বিভিন্ন পদার্থের (যথা লোহা ও পিতল) দুইটি অসমান লম্ব (vertical) দণ্ড। ইহাদের B ও C প্রান্তদ্বয় একটি ছোট দণ্ড BC দ্বারা যুক্ত আছে। A প্রান্ত আবদ্ধ থাকে বলিয়া উষ্ণতা বাড়িলে AB দণ্ড নীচের দিকে বাড়ে এবং C প্রান্ত রিভেট করা থাকে বলিয়া CD দণ্ড উপর দিকে বাড়ে। যদি AB ও CD দণ্ডদ্বয়ের দৈর্ঘ্য ও পদার্থ (material) এমনভাবে নির্বাচন করা যায় যে t°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য ABর নীচের দিকের প্রসারণ ও CDএর উপর দিকের প্রসারণ সমান হয় তবে B প্রান্ত যতটা নীচের দিকে নামিবে D প্রান্ত ততটা উপর দিকে উঠিবে। ∴ AD দূরত্ব (যাহা দোলকের কার্যকরী দৈর্ঘ্য) অপরিবর্তিত থাকিবে উষ্ণতা যতই পরিবর্তিত হউক। যদি α' ও α^1 এবং l ও l' যথাক্রমে দুই দণ্ডের পদার্থের দৈর্ঘ্য প্রসারাঙ্ক ও দুই দণ্ডের দৈর্ঘ্য হয় তবে $l\alpha t = l'\alpha' t$ বা $\frac{l}{l'} = \frac{\alpha'}{\alpha}$. অর্থাৎ যদি দণ্ডদ্বয়ের দৈর্ঘ্য ও পদার্থের প্রসারাঙ্ক

A l D C B C

১০নং চিত্র

ব্যস্তানুপাতিক হয় তবে AD অপরিবর্তিত থাকিবে। CD দণ্ডের ধাতু AB দণ্ডের ধাতুর চেয়ে বেশী প্রসরণশীল হওয়া দরকার।

যন্ত্রের বিবরণ ঃ এই যন্ত্রে মোট নয়টি—পিতলের চারিটি (চিত্রে সরু কাল দাগ) ও ষ্টীলের (চিত্রে মোটা কাল দাগ) পাঁচটি—লম্ব দণ্ড থাকে। মধ্যের দণ্ডটি ষ্টীলের—ইহার দুই দিকে পর পর পিতল ও ষ্টীল দণ্ড সাজান থাকে। মধ্যের ষ্টীল দণ্ড হইতে পিণ্ড B ঝুলান থাকে। ষ্টীলের দণ্ডগুলির উপর প্রান্ত একটি ছোট এড়ো দণ্ড (cross piece) Eতে আবদ্ধ থাকে। সেইজন্য ইহারা কেবল নীচের দিকে বাড়ে এবং পিণ্ডকে নীচের দিকে লইয়া যাইতে চেষ্টা করে। পিতলের দণ্ডগুলির নীচের প্রান্ত অপর একটি এড়ো দণ্ড Fতে আবদ্ধ থাকে সেইজন্য ইহারা কেবল উপর দিকে বাড়ে এবং পিণ্ডকে উপর দিকে লইয়া যাইতে চেষ্টা করে।

১১নং চিত্র

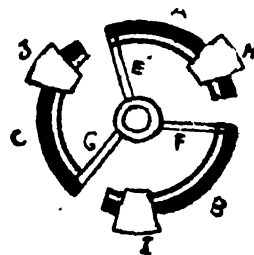
গণনা : এখন যদি ষ্টীল দণ্ডগুলির নিম্নদিকের মোট বিস্তৃতি ও পিতল দণ্ডগুলির উপর দিকের মোট বিস্তৃতির সমান হয় তবে দোলক প্রতিবিহিত হইবে। মধ্য দণ্ড হইতে প্রত্যেক দিকে সমদূরত্বে দুইটি ষ্টীল দণ্ড সমান সুতরাং প্রত্যেক জোড়া ষ্টীল দণ্ড দোলকের কার্যকরী দৈর্ঘ্যকে একই পরিমাণে নীচের দিকে বাড়াইবে। সুতরাং দুই জোড়া ষ্টীল দণ্ডের পরিবর্তে দুইটি লম্বী দণ্ডের দৈর্ঘ্যকে এবং মধ্য ষ্টীল দণ্ডের দৈর্ঘ্যকে ষ্টীল দণ্ডের মোট দৈর্ঘ্য ধরা হয়। সেইরূপ দুই জোড়া পিতল দণ্ডের পরিবর্তে দুইটি পিতল দণ্ডের দৈর্ঘ্যকে পিতল দণ্ডের মোট দৈর্ঘ্য ধরা হয়।

মনে কর দুইটি ষ্টীল দণ্ডের ও মধ্য ষ্টীল দণ্ডের মোট দৈর্ঘ্য $= l$, দুইটি পিতল দণ্ডের মোট দৈর্ঘ্য $= l'$, ষ্টীলের দৈর্ঘ্য-প্রসারাঙ্ক $=$ ·০০০০১২, পিতলের দৈর্ঘ্য-প্রসারাঙ্ক $=$ ·০০০০১৯,

$\therefore\ l\alpha = l'\alpha'$ বা $\frac{l}{l'} = \frac{\cdot০০০০১৯}{\cdot০০০০১২} = \frac{৩}{২}$ (মোটামুটি)

$\therefore$ কার্যকরী দৈর্ঘ্যের অনুপাত ৩ : ২ হয়।

(গ) আজকাল Inver নামক ষ্টীল ও নিকেলের (৩৬%) মিশ্র ধাতু দিয়া দোলক প্রস্তুত হয়। ইহার α = ·০০০০০০৯ অর্থাৎ নগণ্য। মনে রাখিবে দোলকে কেবল দৈর্ঘ্য বিস্তৃতির প্রতিবিধান করিতে হয়। সেইজন্য আয়তন বৃদ্ধি গণনায় আসে না।

২৪। **হাত-ঘড়ির প্রতিবিহিত চক্র (Compensated Balance wheel):** Chronometer বা হাত-ঘড়ির সময় একটি চক্রের দোলনের দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। চক্রের দোলন-কাল আবার চক্রের ব্যাসের উপর নির্ভর করে। গ্রীষ্মে বা দিনে উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে এই ব্যাসের বৃদ্ধি হয়। ব্যাস বাড়িলে দোলন-কাল কমে, ঘড়ি আস্তে আস্তে চলে। শীতে বা রাত্রে ব্যাস কমিলে দোলনকাল বাড়ে, ঘড়ি দ্রুত চলে। চক্রকে নিম্নলিখিত উপায়ে প্রতিবিহিত করা হয়: চক্রের পরিধিকে তিনটি অংশে (A, B, C) ভাগ করিয়া প্রত্যেক অংশের এক প্রান্তে একটি পাখি বা দণ্ড (spoke E, F, G) এবং অপর প্রান্তে একটি ভারী স্ক্রু (H, I, J) জোড়া হয়। প্রত্যেক অংশ দুইটি ধাতুতে প্রস্তুত হয়—পিতল ও ষ্টীল। বেশী প্রসরণশীল পিতল বাহিরের দিকে থাকে, ষ্টীল ভিতরের দিকে থাকে। উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে প্রত্যেক দণ্ড দৈর্ঘ্যে বাড়ে এবং প্রত্যেক অংশের সেই প্রান্তকে বাহিরের দিকে ঠেলিয়া দেয়। আবার বাহিরের পিতল ভিতরের ষ্টীল অপেক্ষা বেশী প্রসারিত হওয়ায় প্রত্যেক অংশের অপর প্রান্তকে ভিতরের দিকে টানিয়া আনে। এখন যদি দণ্ডের প্রসারণের জন্য পরিধির বাহিরের দিকের সরণ ও পিতলের বেশী প্রসারণের জন্য পরিধির ভিতরের দিকে সরণ সমান হয় তবে ব্যাস ঠিকই থাকিবে এবং চক্রের দোলন কাল অপরিবর্তিত থাকিবে।

১২নং চিত্র

অঙ্ক ১। The height of a barometer appears to be 76·4 c.m. according to the brass scale which is correct at 0°C. If the tempera-

ture at the time of reading is 30°C, what is the actual height of the mercury column ? α of brass = ·000018. (C. U. 1920).

প্রকৃত দৈর্ঘ্য = ৭৬·৪ (১ + αt) = ৭৬·৪ (১ + ·০০০০১৮ × ৩০)

= ৭৬·৪৪১২৫ সেঃ মিঃ

২। A clock whose brass pendulum beats seconds is correct at 30°C. How many seconds will it gain or lose per day if the temperature is kept constant at 20°C ? α = ·000018. (C. U. 1944)

মনে কর T_1 ও T_2 যথাক্রমে দোলকের ৩০°C ও ২০°C উষ্ণতায় দোলনকাল এবং l_1 ও l_2 উক্ত উষ্ণতায় দোলকের দৈর্ঘ্য। আমরা জানি $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ এবং

$l_1 = l_2\{১ + \alpha(৩০ - ২০)\}$

$\therefore \frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{l_1}{l_2}} = \sqrt{\frac{l_2(১ + \alpha.১০)}{l_2}} = (১ + \alpha১০)^{\frac{১}{২}} = (১ + ·০০০০১৮ × ১০)^{\frac{১}{২}}$

$= ১ + ·০০০০১ × \frac{৯}{২}$ = ১·০০০০৯.

T_2 = ১ হইলে T_1 = ১·০০০০৯

অর্থাৎ প্রতি সেকেণ্ডে ·০০০০৯ সেকেণ্ড ফাষ্ট হইলে, ২৪ ঘণ্টায় ·০০০০৯ × ৬০ × ৬০ × ২৪ = ৭·৭৭৬ সেকেণ্ড ফাষ্ট হইবে।

৬। A grid-iron pendulum is made of 5 iron rods and 4 brass rods. Each brass rod is 50 c.m. in length. Find the length of each iron rod. α of iron is ·000012, α of brass is ·000018.

(C. U. 1948.)

Grid-iron দোলকের সজ্জা এমনভাবে থাকে যে লৌহ দণ্ডের পাঁচটির ভিতর তিনটির ও পিতলের চারটির ভিতর দুইটির প্রসারণ গণনা করিতে হয়। মনে কর x সেঃ মিঃ হইল প্রত্যেক লৌহদণ্ডের দৈর্ঘ্য $\therefore$ তিনটি লৌহদণ্ডের প্রসারণ = দুইটি পিতল দণ্ডের প্রসারণ

$\therefore$ ৩x × ·০০০০১২ = ২ × ৫০ × ·০০০০১৮

$\therefore x = \frac{২ × ৫০ × ১৮}{৩ × ১২}$ = ৫০ সেঃ মিঃ

৪। Compare the density of lead at 100°C with that at −100°C. α of lead = ·000028 (C. U. 1942.)

আমরা জানি $\gamma = ৩\alpha$ এবং $\rho_t = \frac{\rho_0}{১+\gamma t}$

$$\therefore \quad \gamma = ৩ \times ·০০০০২৮ = ·০০০০৮৪$$

$$\therefore \quad \rho_{১০০} = \frac{\rho_0}{১+·০০৮৪} \quad ও \quad \rho_{-১০০} = \frac{\rho_0}{(১-·০০৮৪)}$$

$$\therefore \quad \frac{\rho_{১০০}}{\rho_{-১০০}} = \frac{১-·০০৮৪}{১+·০০৮৪} = \frac{·৯৯১৬}{১·০০৮৪} = ·৯৮ ।$$

৫। A sphere of 100 c.m. radius at 0°C is heated to 100°C and its radius is found to be 101 c.m. What is the co-efficient of cubical expansion of the material of the sphere? (C. U. 1939).

$$\therefore \quad \alpha = \frac{l_t - l_0}{l_0 t} = \frac{১০১-১০০}{১০০ \times ১০০} = \frac{১}{১০^{৪}} = ১০^{-৪}$$

$$\therefore \quad \gamma = ৩\alpha = ৩ \times ১০^{-৪}.$$

প্রশ্ন

1. Define the Co-efficient of linear expansion of solids (C. U. 1915, '18, '31, '43, '46, D. U. 1929, 38). Explain what do you mean by the statement "Coefficient of linear expansion of cast iron is ·0000117." (C. U. 1926, '38.)

2. Define coefficients of cubical expansion of solids (C. U. 1918, '31). Show how the coefficient of linear expansion is related to the coefficient of cubical expansion. (C. U. 1943).

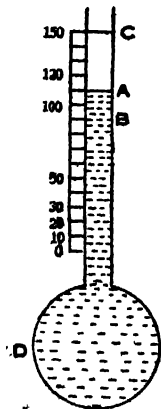
*3. Describe any method of determining the coefficient of linear expansion of a solid pointing out the errors involved and the precautions taken by you to eliminate them. (C. U. 1921, '27, '31, '36, '39, '42 ; D. U. 1928, '32, '34 ; P. U. 1930 ; A. U. 1925, 31).

4. Most solids expand on heating, in some cases expansion can be made to serve useful purposes while in others it is a nuisance

for which allowance ought to be made. Give examples of each case. (C. U. 1936, '41, '43). Give two examples with sketches, to show how effects of expansion are eliminated. Show in each case whether linear or cubical expansion is considered and why. (C. U 1943). Why a thick glass tumbler cracks when boiling water is poured into it (C. U. 1941).

5. How clocks and watches are compensated for variations of temperature (C. U. 1925 ; '43 ; A. U. 1932).

তরলের প্রসারণ (Expansion of liquids)

২৫। **তরলের প্রসারণের বৈশিষ্ট্য :** তরলের প্রসারণ বিবেচনা করিবার সময় তিনটি বিষয় মনে রাখিবে : (ক) তরলের কোন আকার নাই। সুতরাং তাপ প্রয়োগে তরল কেবল দৈর্ঘ্যে বা ক্ষেত্রফলে বাড়ে না, ইহা সব সময়েই আয়তনে বাড়ে। (খ) তরল সব সময়েই কঠিন পদার্থের পাত্রে থাকে। যখন তরলকে উষ্ণ করা হয় তখন তরল ও পাত্র দুইই উষ্ণ হয় ও দুই আয়তনে বাড়ে। সুতরাং পাত্রের আয়তন-বৃদ্ধির জন্য তরলের দৃষ্ট আয়তন-বৃদ্ধি প্রকৃত আয়তন-বৃদ্ধির অপেক্ষা কম হয়।

১৩নং চিত্র

২৬। **প্রকৃত ও আপাত প্রসারণ** (Real and apparent expansion).

পরীক্ষা : একটি সরু ও সমান ব্যাসের নলযুক্ত কুণ্ড D লও। কুণ্ডকে ও নলের A দাগ পর্যন্ত পারদ বা রঙিন তরলে পূর্ণ কর। হঠাৎ কুণ্ডকে গরম জলে ডুবাইলে তরল তাপ পাইবার পূর্বে প্রথমে কুণ্ড তাপ পাইয়া প্রসারিত হইবে। এই অতিরিক্ত স্থান তরল দখল করিবে সুতরাং তরলের তল Bতে নামিবে। পরক্ষণেই তরল সম উষ্ণতায় উত্তপ্ত হইয়া প্রসারিত হইবে এবং যেহেতু একই উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য তরলের আয়তন-বৃদ্ধি কঠিনের চেয়ে বেশী সেইজন্য তরলেরতল A ছাড়াইয়া Cতে উঠিবে। বস্তুতঃ আমরা A হইতে Cতে তরলের প্রসারণ চোখে দেখি। সুতরাং AC

আয়তন = আপাত প্রসারণ, CB আয়তন = প্রকৃত প্রসারণ ও AB আয়তন = পাত্রের প্রসারণ। ১৩নং চিত্র হইতে দেখা যায় BC = CA + AB

∴ প্রকৃত প্রসারণ = আপাত প্রসারণ + পাত্রের প্রসারণ……(১১)

∴ আপাত প্রসারণ = প্রকৃত প্রসারণ − পাত্রের প্রসারণ অর্থাৎ পাত্রের প্রসারণকে না ধরিয়া যে প্রসারণ দেখি সেইটাই আপাত প্রসারণ।

২৭। প্রকৃত ও আপাত প্রসারাঙ্ক (Coefficient of real and expansion) :

$$\text{প্রকৃত প্রসারাঙ্ক} = \gamma = \frac{\text{প্রকৃত প্রসারণ}}{\text{O°C উষ্ণতায় আয়তন} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}} \cdots(১২)$$

$$\text{আপাত প্রসারাঙ্ক} = \gamma^1 = \frac{\text{দৃষ্ট প্রসারণ}}{\text{O° উষ্ণতায় আয়তন} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}} \cdots\cdots(১৩)$$

২৮। γ ও γ^1র সম্পর্ক : চিত্রে মনে কর O°C উষ্ণতায় A দাগ পর্যন্ত পাত্রের আয়তন = O°C উষ্ণতায় তরলের আয়তন = V_o ; উষ্ণতা-বৃদ্ধি = t°C ; তরলের প্রকৃত ও আপাত প্রসারাঙ্ক = γ, γ^1 ; মনে কর কাচের (পাত্রের) প্রসারাঙ্ক = γ_g ; তরলের প্রকৃত প্রসারণ = $V_o\gamma t = v$ আপাত প্রসারণ = $V_o\gamma^1 t = v_1$ পাত্রের প্রসারণ = $V_o\gamma_g t = v_2$.

আমরা জানি $v = v_1 + v_2$

$$\therefore \quad V_o\gamma t = V_o\gamma^1 t + V_o\gamma_g t$$

$$\therefore \quad \gamma = \gamma^1 + \gamma_g \cdots\cdots(১৪)$$

অর্থাৎ প্রকৃত প্রসারাঙ্ক = আপাত প্রসারাঙ্ক + পাত্রের পদার্থের প্রসারাঙ্ক।

২৯। আপাত প্রসারাঙ্ক নিরূপণ (Determination of Apparent Coefficient).

(ক) ভার থার্মমিটার (Weight thermometer) দ্বারা :—একটি দীর্ঘ সরু নলযুক্ত বাল্‌ব্ (B) লও। নলটিকে আগুণে গলিত অবস্থায় টানিয়া ও বাঁকাইয়া মুখটিকে (A) সূচাল কর। ইহাকে পর পর তিনবার ওজন কর যথা—
(ক) খালি বাল্‌বকে পরিষ্কার ও শুষ্ক করিয়া ওজন কর। মনে কর ইহার ভর = W গ্রাম; (খ) সরু মুখকে পরীক্ষাধীন তরলে ডুবাইয়া পর্যায়ক্রমে বাল্‌ব্‌কে উষ্ণ

ও শীতল করিয়া বাল্‌ব্‌কে সম্পূর্ণরূপে তরলে পূর্ণ কর। পূর্ণ হইলে বাল্‌ব্‌কে ঘরের উষ্ণতায় আসিতে দাও। মনে কর এই উষ্ণতা t_1°C। তরলপূর্ণ বাল্‌ব্‌কে ওজন কর। মনে কর ইহার ভর $= W_1$ গ্রাম $\therefore$ t_1°C উষ্ণতায় বাল্‌বের ভিতরের তরলের ভর $= W_1 - W = m_1$ গ্রাম। (গ) এইবার তরলপূর্ণ বাল্‌ব্‌কে ও নলের খানিকটা ফুটন্ত জলে ডুবাও। মুখটা জলের উপর থাকে যেন। তরল আয়তনে বাড়িবে এবং অতিরিক্ত তরল মুখ দিয়া বাহির হইবে কিন্তু এই উষ্ণ অবস্থায় বাল্‌ব তরলপূর্ণ থাকিবে। মনে কর ফুটন্ত জলের উষ্ণতা $= t_2$°C.

১৪নং চিত্র

এখন বাল্‌ব্‌কে ফুটন্ত জল হইতে সরাইয়া পুনরায় ঘরের উষ্ণতায় (t_1°C) নামিতে দাও। t_2°C হইতে t_1°C উষ্ণতায় কমিলে তরলের আয়তন কমিবে, ইহা বাল্‌বের সবটা অধিকার করিবে না কিন্তু তরলের ভর কমিবে না। এই তরল সমেত বাল্‌ব ওজন কর। মনে কর ইহার ভর $= W_2$ গ্রাম $\therefore$ t_1°C উষ্ণতায় বাল্‌বের ভিতরের সংকুচিত তরলের ভর $= W_2 - W = m_2$ গ্রাম। মনে কর t_2°C উষ্ণতায় তরলের ঘনাঙ্ক $= d$, t_2°C উষ্ণতায় m_2 ভরের আয়তন $= \frac{m_2}{d} =$ বাল্‌বের আয়তন।

t_2°Cতে নির্গত তরলের ওজন $= m_1 - m_2$ গ্রাম

$\therefore$ নির্গত তরলের আয়তন $= \frac{m_1 - m_2}{d}$.

$\therefore$ t_1°C উষ্ণতায় যে তরলের $\frac{m_2}{d}$ আয়তন থাকে তার t_2°C উষ্ণতায় আয়তন-বৃদ্ধি হয় $\frac{m_1 - m_2}{d}$

$$\therefore \text{ আপাত প্রসারাঙ্ক} = \frac{m_1 - m_2}{d} \div \left(\frac{m_2}{d} \times (t_2 - t_1)\right).$$

$$= \frac{m_1 - m_2}{m_2(t_2 - t_1)} = \frac{\text{স্থানচ্যুত তরলের ভর}}{t_2\text{°}c \text{ উষ্ণতায় অবশিষ্ট তরলের ভর} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}} \quad \cdots\cdots (১৫)$$

এখানে m_1, m_2, t_1 ও t_2 জানা আছে কাজেই γ' বাহির করা যায়।

দ্রষ্টব্য : (ক) উপরোক্ত প্রক্রিয়ায় ওজন হইতে প্রসারাঙ্ক বাহির করা হইলেও প্রসারাঙ্কের সহিত ওজনের কোন সম্পর্ক নাই। (খ) ওজন হইতে প্রসারাঙ্ক বাহির করা যায় বলিয়া এবং প্রসারাঙ্ক ও অপসারিত তরলের ওজন হইতে উষ্ণতা বাহির করা যায় বলিয়া এই যন্ত্রকে **ভার থার্মমিটার** বলে। (গ) নির্ভুল গণনার জন্য প্রথমে বাল্‌বকে বরফে ডুবান উচিৎ যাহাতে $t_1 = 0°C$ হয়।

(খ) **আয়তন মাপ দ্বারা** (Dilatometer or Volume Thermometer) : মনে কর ১৩নং চিত্রের নলের ছিদ্র সর্বত্র সমান ব্যাসের এবং ইহার প্রস্থচ্ছেদ $= a$। মনে কর বাল্‌বের আয়তন $= V$ ঘঃ সেঃ মিঃ (পরে দেখুন)। নলটিকে সমান দৈর্ঘ্যে ভাগ করিয়া দাগ কাটা থাকে। বাল্‌ব ও নলের কিছু অংশ পরীক্ষাধীন তরলে পূর্ণ কর। 0°C উষ্ণতার কোন তরলের গাহে (bath) বাল্‌বকে কিছুক্ষণ ডুবাইয়া রাখ। স্কেলে তরলস্তম্ভের অবস্থান দেখিয়া তরলের আয়তন বাহির কর; মনে কর 0°C উষ্ণতায় আয়তন V_0 ঘঃ সেঃ মিঃ। গাহের উষ্ণতা t°C পর্যন্ত বাড়াও। বাল্‌বকে গাহে কিছুক্ষণ ডুবাইয়া রাখ। মনে কর তরলস্তম্ভ l দূরত্ব উঠে। ∴ আয়তন-প্রসারণ $= l.a$ ঘঃ সেঃ মিঃ।

বাল্‌বের প্রসারণ অগ্রাহ্য করিয়া, $\gamma = \dfrac{\text{আপাত প্রসারণ}}{\text{প্রাথমিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}$

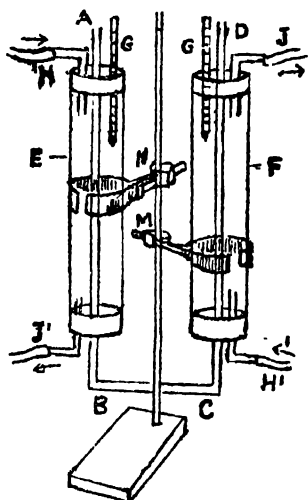
$$= \frac{la}{V_0 t} \quad \ldots\ldots(১৬)$$

কোন উষ্ণতায় বাল্‌বকে খালি ও পারদপূর্ণ অবস্থায় ওজন কর। মনে কর উহা W ও W_1 গ্রাম ∴ পারদের ওজন $= W_1 - W$ গ্রাম

∴ পারদের আয়তন $= \dfrac{W_1 - W}{\text{সেই উষ্ণতায় পারদের ঘনাঙ্ক}} =$ বাল্‌বের আয়তন।

দ্রষ্টব্য : উপরোক্ত একটি বা দুইটি বাল্‌ব ব্যবহার করিয়া নিম্নলিখিত পরীক্ষা করা যায় : (ক) একটি বাল্‌ব ব্যবহার করিয়া একই তরলের আপাত প্রসারাঙ্ক বাহির করা যায়। (খ) বিভিন্ন উষ্ণতায় একই তরল (পারদ ব্যতীত)

একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতার পার্থক্যর জন্য বিভিন্ন হারে প্রসারিত হয়। (গ) দুইটি বাল্‌ব ব্যবহার করিয়া দুইটি তরলের একই উষ্ণতার পার্থক্যর জন্য প্রসারণ তুলনা করা যায়।

৩০। **প্রকৃত প্রসারাঙ্ক** (Coefficient of Real Expansion : (১) **Dulong ও Petit নিয়ম ঃ** (ক) **যন্ত্রের বিবরণ ঃ** একটি দুই মুখ খোলা দীর্ঘ ও সরু নলকে দুইবার সমকোণে বাঁকাইয়া U-আকারের করা হয়। নলের AB ও CD সমান বাহুদ্বয় খাড়াভাবে দাঁড়াইয়া থাকে। BC বাহু অনুভূমিক অবস্থায় থাকে। AB ও CD বাহুদ্বয় অপর দুইটি মোটা কুঞ্চক বা আবরণ (jacket) E ও F দ্বারা আবৃত থাকে। E ও F নলের দুই মুখ কর্ক দিয়া আঁটা থাকে। কর্কের মধ্য দিয়া AB ও DC নল অতিক্রম করে। উপরের কর্কের মধ্য দিয়া থার্মমিটার (G, G) লাগাইবার ছিদ্র আছে। উভয় কর্কের মধ্য দিয়া ষ্টীম ও জল ঢুকিবার H ও H^1 নল এবং বাহির হইবার J', J নল অতিক্রম করে। E আবরণকে N বন্ধনী দিয়া এবং F আবরণকে M বন্ধনী দিয়া আট্‌কান থাকে।

১৫নং চিত্র

পরীক্ষা ঃ পরীক্ষাধীন তরলকে নলে ঢাল যাহাতে দুই খাড়া বাহুতে তরল-স্তম্ভ E ও F আবরণের ঠিক বাহিরে দেখা যায়। দুই বাহুতে তরল-স্তম্ভ একই উচ্চতায় দাঁড়াইবে। H^1 নল দিয়া হিমশীতল (ice-cold) জলস্রোত প্রবাহিত করাইয়া F আবরণকে সব সময়েই এই জলে ভর্তি করা হয়। J নল দিয়া এই জল বাহির হইবে। H নল দিয়া ধীরে ধীরে E আবরণে ষ্টীম প্রবেশ করাও। এই ষ্টীম J^1 নল দিয়া বাহির হইবে। যাহাতে এক বাহু হইতে অন্য বাহুতে তাপ বা তরল চলাচল না করিতে পারে সেই উদ্দেশ্যে BC নলকে শীতল জলসিক্ত ব্লটিং কাগজ দিয়া ঢাকিয়া রাখা হয় কিংবা নলের মাঝখানে তুলা

দেওয়া হয়। দুই বাহুতে উষ্ণতার পার্থক্যর জন্য তরল-স্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য হয়। এই দুই উচ্চতা স্কেল দিয়া মাপ। দুই থার্মমিটারে উষ্ণতা দেখ।

গণনা : মনে কর AB ও CD নলে তরল-স্তম্ভের উচ্চতা যথাক্রমে h ও h_o এবং তরলের উষ্ণতা ও ঘনাঙ্ক যথাক্রমে ১০০°C, 0°C ও d, d_o। B ও C বিন্দু একই অনুভূমিক তলে আছে বলিয়া B বিন্দুতে চাপ = C বিন্দুতে চাপ।

B বিন্দুতে চাপ $= P + hdg$, C বিন্দুতে চাপ $= P + h_0 d_0 g$.

(P = বায়ুমণ্ডলের চাপ।) $\therefore\ hd = h_0 d_0$

আমরা জানি $d_0 = d\{1 + \gamma(100° - 0°)\}$. (γ = প্রকৃত প্রসারাঙ্ক)

$$\therefore\ hd = h_0 d\{1 + \gamma(100)\} \qquad \therefore\ \gamma = \frac{h - h_0}{h_0 100}$$

এই সমীকরণ পাত্রের কঠিনের আয়তন-বৃদ্ধি নিরপেক্ষ সুতরাং দুইটি বাহু বিভিন্ন ব্যাসের হইলেও চলিবে।

মনে কর দুই বাহুতে তরলের উষ্ণতা ও ঘনাঙ্ক যথাক্রমে t_1, t_2 ও d_1, d_2 হয় এবং তরলস্তম্ভের উচ্চতা যথাক্রমে h_1 ও h_2 হয়। $\therefore\ h_1 d_1 = h_2 d_2$.

কিন্তু $d_0 = d_1(1 + \gamma t_1)$ $\qquad d_0 = d_2(1 + \gamma t_2)$

$$\therefore\ \frac{h_1 d_0}{(1 + \gamma t_1)} = \frac{h_2 d_0}{1 + \gamma t_2} \qquad \therefore\ \gamma = \frac{h_2 - h_1}{h_1 t_2 - h_2 t_1} \quad \ldots\ldots(১৭)$$

ভুলের সম্ভাবনা : (ক) যে সব তরলের α খুব ক্ষুদ্র তাহাদের পক্ষে এই নিয়ম নির্ভুল হয় না। (খ) BC নল দিয়া কিছু তাপ যাতায়াত করে। (গ) আবরণের উপর অংশের উষ্ণতা ধরা হয় না।

(২) **পরোক্ষ নিয়ম** (Indirect Method) **:** তরলের আপাত প্রসারাঙ্কের সহিত পাত্রের (কঠিন পদার্থের) প্রসারাঙ্ক যোগ করিলে তরলের প্রকৃত প্রসারাঙ্ক পাওয়া যায়।

৩১। **তরলের প্রকৃত প্রসারাঙ্ক** (০°C ও ৫০°C এর মধ্যে) **:** জল (৪০°C – ১০০°C) – ˙০০০৫৯, পারদ – ˙০০০১৮, গ্লিসারিণ – ˙০০০৫৩, কোহল – ˙০০১১০। পারদ ব্যতীত প্রায় সব তরলেরই বিভিন্ন উষ্ণতায় প্রসারাঙ্ক বিভিন্ন হয়। জলের ১০° হইতে ২০°C পর্যন্ত যে প্রসারাঙ্ক ৬০° হইতে ৭০°C পর্যন্ত তার চারগুণ প্রসারাঙ্ক হয়। নিম্ন উষ্ণতার চেয়ে উচ্চ উষ্ণতায়

কোহলের প্রসারাঙ্ক বেশী। পারদ ব্যতীত অপর সকল তরলের প্রসারাঙ্ক উল্লেখ করিলে সঙ্গে সঙ্গে উষ্ণতার উল্লেখ করিতে হয়।

৩২। **বিভিন্ন উষ্ণতায় তরলে নিমজ্জিত কঠিনের ওজন-হ্রাস :** মনে কর V_o ঘঃ সেঃ মিঃ আয়তনের কোন কঠিনকে $0°C$ উষ্ণতায় কোন তরলে ডুবাইলে উহার ওজনের হ্রাস $= W_o$ এবং $t°C$ উষ্ণতায় ডুবাইলে উহার ওজনের হ্রাস $= W'$। মনে কর $0°C$ ও $t°C$ উষ্ণতায় তরলের ঘনাঙ্ক যথাক্রমে D_0 ও D_1, কঠিনের ও তরলের প্রসারাঙ্ক যথাক্রমে α ও β

$\therefore$ কঠিনের $t°C$ উষ্ণতায় আয়তন $= V_1 = V_0(1+\alpha t)$ এবং $D_1 = D_0 (1-\beta t)$

আর্কিমিদিস সূত্র অনুসারে ওজনের হ্রাস $= W_0 =$ নিজ আয়তনের তরলের ওজন $= V_0 D_0$ $\therefore$ $W = V_1 D_1 = V_0(1+\alpha t)\ D_0\ (1-\beta t)$

$$= V_0D_0(1+\alpha t)(1-\beta t) = V_0D_0\{1+(\alpha-\beta)t-\alpha\beta t^2\}$$

$$= V_0D_0\{1+(\alpha-\beta)t\}\ (\alpha\beta t^2 \text{ কে বাদ দিয়া })$$

$$W = V_0D_0\{1+(\alpha-\beta)t\}$$

$$= W_0\{1+(\alpha-\beta)t\}\ldots\ldots\ldots(১৮)$$

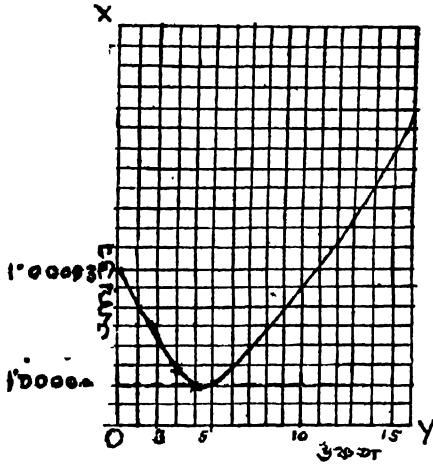
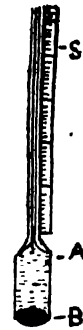
ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে W হইতে W_o বেশী অর্থাৎ তরলের উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে তরলে নিমজ্জিত কঠিনের আপাত ওজন বাড়িয়া যায়।

৩৩। **জলের ঘনাঙ্ক :** তরল তাপে প্রসারিত হয়, শৈত্যে সংকুচিত হয়। কিন্তু $0°C$ উষ্ণতায় বিশুদ্ধ জলে তাপ প্রয়োগ করিলে ৪°C পর্যন্ত ইহার আয়তন কমে অর্থাৎ সংকুচিত হয়। ৪°Cএর পর উহার আয়তন বাড়ে।

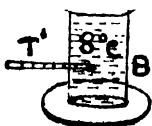
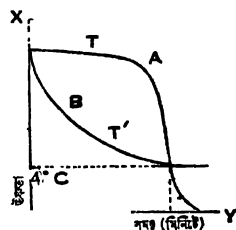
অতএব ৪°C উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভরের বিশুদ্ধ জলের আয়তন সব চেয়ে কম এবং ঘনাঙ্ক সব চেয়ে বেশী। পারদ বা অন্য তরল $0°$ হইতে উত্তপ্ত হইলে আয়তনে বাড়িয়াই চলে।

নিম্নলিখিত দুইটি পরীক্ষা দ্বারা জলের ৪°C উষ্ণতায় সর্বোচ্চ ঘনাঙ্কের বিষয় প্রমাণ করা যায় : (ক) **নির্দিষ্ট আয়তন** Dilatometer : এই যন্ত্রে চোঙাকৃতি বাল্‌ব A ও সমব্যাসের অংশাঙ্কিত দীর্ঘ নল থাকে (১৬নং চিত্র)। বাল্‌বের আয়তনের $\frac{1}{7}$ ভাগে পারদ B থাকে। পারদের প্রসারাঙ্ক কাচের প্রসারাঙ্কের

সাতগুণ। সুতরাং উষ্ণতার হ্রাস-বৃদ্ধিতে বাল্‌বের আয়তনের হ্রাস-বৃদ্ধি পারদের আয়তনের হ্রাস-বৃদ্ধির সমান হইবে। অতএব বাল্‌বে পারদের উপরের জায়গার আয়তন উষ্ণতা-হ্রাস-বৃদ্ধি স্বত্বেও একই থাকিবে। নলের কোন নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত যন্ত্রকে বিশুদ্ধ জলে ভর্তি করিয়া যন্ত্রকে O°C উষ্ণতার কোন জলগাহে

১৭নং চিত্র ১৬নং চিত্র

রাখ। সুবেদী থার্মমিটার দিয়া জলগাহের উষ্ণতা লও। নলে জলতলের অবস্থান লিখ। ইহা O°C উষ্ণতায় জলের আয়তন। জলগাহের জলের উষ্ণতা ধীরে ধীরে বাড়াইয়া যাও। জল নাড়িতে থাক। প্রত্যেক ১°C অন্তর উষ্ণতা স্থির রাখিয়া জলের আয়তন বাহির কর। জলের আয়তনকে কোটি (ordinate) ও উষ্ণতাকে ভুজ (abscissa) লইয়া ছক টান। ছক (১৭ চিত্র) হইতে দেখা যায় যে O°C হইতে উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে আয়তন কমিতে থাকে। ৪°C উষ্ণতায় সর্বনিম্ন আয়তন হয়, তৎপরে অধিক উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে আয়তন প্রথমে ধীরে ধীরে বাড়ে তৎপরে দ্রুত গতিতে বাড়িতে থাকে।

(খ) **হোপের পরীক্ষা** (Hope's Experiment) : একটি ৩০ সেঃ মিঃ দীর্ঘ চোঙের (A) মাঝখানে চারিপাশ বেষ্টন করিয়া ১৫ সেঃ মিঃ চওড়া একটি পাত্র (C) থাকে। চোঙের তলা বন্ধ থাকে। মাঝের C পাত্রে হিমমিশ্র

(freezing mixture—বরফ ও লবণের মিশ্র) গাদা থাকে। হিমমিশ্রের উষ্ণতা প্রায়—২০°C। চোঙ ঘরের উষ্ণতার জলে ভর্তি থাকে। চোঙের উপর ও নিম্ন অংশে দুইটি ছিদ্র দুইটি কর্ক দিয়া আটা থাকে। কর্কের মধ্য দিয়া দুইটি থার্মমিটার T ও T′ অনুভূমিক ভাবে প্রবেশ করান থাকে। এখন চোঙের জল তিন অংশে ভাগ হইল। উপরের, মধ্যের ও নীচের। ইহাদের উষ্ণতার পার্থক্য লক্ষ্য কর। হিমমিশ্র রাখার পূর্বে দুই থার্মমিটারে একই উষ্ণতা দেখা যায়। হিমমিশ্র রাখিলে প্রথমে হিমমিশ্রের চারিপাশে চোঙের জল শীতল হইয়া সংকুচিত হয়, ঘনাঙ্ক বাড়িয়া যায়। সুতরাং এই শীতল জল ভারী হইয়া চোঙের তলদেশে নামিয়া যায়। তলদেশ হইতে উষ্ণ ও হাল্কা জল এই স্থানে উঠিয়া আসে। আবার এই জল শীতল ও ভারী হইয়া নীচে নামিয়া যায়। এইরূপে পরিচলন (convection) ক্রিয়া দ্বারা নীচের জলের ক্রমশঃ উষ্ণতা হ্রাস পাইতে থাকে এবং নীচের T′ থার্মমিটারে উষ্ণতা কমিতে দেখা যায়। যতক্ষণ পর্যন্ত চোঙের মাঝখান হইতে তলদেশ পর্যন্ত সমস্ত জলের উষ্ণতা ৪°C না হয় ততক্ষণ এইরূপে চলে। এই সময়ে উপরের জল উষ্ণ ও হাল্কা থাকে বলিয়া উপরের T থার্মমিটারের উষ্ণতা প্রায় সমান থাকে। ইহার পর চোঙের মাঝখানের জল ৪°Cর নিম্নেও শীতল হইতে থাকে কিন্তু ইহা তলদেশে যায় না কারণ নীচের থার্মমিটারে উষ্ণতা ৪°Cর নীচে নামে না। আবার মাঝখানের এই শীতল জল উপরেও উঠে না। কারণ এখন উপরের থার্মমিটারেও উষ্ণতা ঘরের উষ্ণতার নীচে নামে না। অতএব ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে ৪°C **উষ্ণতায় জলের ঘনাঙ্ক সর্বাপেক্ষা বেশী**। ৪°Cর নীচে উষ্ণতা কমিলে বা ৪°Cর উপরে উষ্ণতা বাড়িলে ইহা প্রসারিত হয়, ঘনাঙ্ক কমিয়া যায়, উহা হাল্কা হয়। কিন্তু

১৮নং চিত্র

১৯নং চিত্র

মাঝখানের জল ৪° হইতে O°Cতে কমিলেও ইহা উপরের ঘরের উষ্ণতার জলের চেয়ে হাল্‌কা হয় না সুতরাং মাঝের জলের উষ্ণতা O°C পর্যন্ত না কমা পর্যন্ত ইহা মাঝখানে থাকে। O°C উষ্ণতায় নামিলে জল বরফ হয়। বরফ জলের চেয়ে হাল্‌কা বলিয়া উপরে চলিয়া যায়। বরফের সংস্পর্শে উপরের জলের উষ্ণতা ক্রমশ কমিতে কমিতে O°Cতে নামে। উপরের থার্মমিটারে O°C ও নীচের থার্মমিটারে ৪°C উষ্ণতা দেখা যায়। দুই থার্মমিটারের উষ্ণতা নির্দিষ্ট সময় অন্তর লও। ছক কাগজে অনুভূমিক রেখা বরাবর সময় ও লম্বরেখা বরাবর উষ্ণতা লিখিয়া ছক আঁকিলে ১৯নং চিত্রের মত হইবে।

৩৪। O°C উষ্ণতায় বরফের ঘনাঙ্ক ও আয়তন = ·৯১৬৭০, ১·০৯০৮১ ; O°C উষ্ণতায় জলের ঘনাঙ্ক ও আয়তন = ·৯৯৯৮৭, ১·০০০১৩ ; ৪°C উষ্ণতায় জলের ঘনাঙ্ক ও আয়তন = ১, ১ ; ১০০°C উষ্ণতায় জলের ঘনাঙ্ক ও আয়তন = ·৯৫৮৪, ১·০৪৩২ ; জলের প্রসারাঙ্ক ১০°তে ·০০০১ হইতে ৮০°Cতে ·০০০৬ হয়।

শীতপ্রধান দেশে নদী, হ্রদ বা পুকুরের তলদেশের জল ৪°C উষ্ণতায় থাকে কিন্তু উপরের জল O°Cতে জমিয়া বরফ হইয়া যায়। সেইজন্য মৎসাদি জলচর প্রাণী তলদেশের জলে অনায়াসে বাঁচিয়া থাকে। যদি জলের এই গুণ না থাকিত তবে সমস্ত জলই বরফে পরিণত হইত।

৩৫। **ব্যারোমিটার পঠনে উষ্ণতা সংশোধন** (Temperature Correction for Barometric reading): **বায়ুর মান চাপ** (Standard Atmospheric Pressure) = O°C উষ্ণতায় ৭৬ সেন্টিমিটার দীর্ঘ পারদস্তম্ভের ওজনের সমান। কোন তরলের ওজন ঘনাঙ্কের সহিত এবং ঘনাঙ্ক উষ্ণতার সহিত পরিবর্তিত হয়। আবার পারদস্তম্ভের উচ্চতা স্কেল দিয়া মাপা হয়। স্কেলের অংশাঙ্কন O°C উষ্ণতায় নির্ভুল হয় এবং স্কেলের দৈর্ঘ্য উষ্ণতা পরিবর্তনের সঙ্গে পরিবর্তিত হয়। সুতরাং ব্যারোমিটারের পঠনে উষ্ণতার পরিবর্তনের জন্য দুইটি সংশোধন করিতে হয়ঃ (ক) **স্কেলের পঠনের সংশোধনঃ** মনে কর t°C উষ্ণতায় ব্যারোমিটারের দৃষ্ট (observed) উচ্চতা = H সেঃ মিঃ। O°C অপেক্ষা t°Cতে স্কেলের দৈর্ঘ্য বাড়িয়া যাইবে।

মনে কর স্কেলের পদার্থের (সাধারণতা পিতলের) প্রসারাঙ্ক = α $\therefore$ O°C

উষ্ণতায় নিভুর্ল স্কেলের প্রত্যেক সেঃ মিঃ প্রকৃতই t°C উষ্ণতায় বর্ধিত স্কেলের $(1+\alpha t)$ সেঃ মিঃ হয়। মনে কর h = 0°C উষ্ণতায় নির্ভুল স্কেলের পঠন। 0°C উষ্ণতায় নিভুর্ল স্কেলে প্রকৃত উচ্চতা h অপেক্ষা t°C উষ্ণতায় বর্ধিত স্কেলে উচ্চতা H কম হয়।

$\therefore$ যার দৃষ্ট উচ্চতা H তার প্রকৃত উচ্চতা $H(1+\alpha t)$

$\therefore$ $h = H + H\alpha t$······(১) অর্থাৎ t°C উষ্ণতায় সংশোধন = +(প্রসারাঙ্ক × দৃষ্ট উচ্চতা × উষ্ণতা-বৃদ্ধি)। (খ) **পারদের ঘনাঙ্ক সংশোধনঃ** এই সংশোধিত উচ্চতা h পারদের t°C উষ্ণতায় ঘনাঙ্ক পরিবর্তন জন্য দ্বিতীয়বার সংশোধন করা দরকার। মনে কর 0°C ও t°C উষ্ণতায় পারদের ঘনাঙ্ক = d_0 ও d, পারদের প্রকৃত প্রসারাঙ্ক = γ। দ্বিতীয়বার সংশোধিত উচ্চতা = H_0.

আমরা জানি $d_0 = d(1+\gamma t)$। প্রকৃত বায়ুচাপের কোন পরিবর্তন হয় না। সুতরাং H_0 উচ্চতার পারদস্তম্ভের ও h উচ্চতার পারদস্তম্ভের উভয়েরই একক ক্ষেত্রফলের ওজন সমান হইবে।

$$\therefore \; hdg = H_0 d_0 g \text{ বা } hd = H_0 d_0 = H_0 d(1+\gamma t)$$

$$\therefore \; H_0 = \frac{h}{1+\gamma t} = h\,(1+\gamma t)^{-1} = h\,(1-\gamma t) \quad (\alpha^2 t, \text{ বাদ দিয়া})$$

(১) হইতে, $H_0 = H(1+\alpha t)(1-\gamma t) = H\{1-(\gamma-\alpha)t$ (১৯) ($\alpha\gamma t_2$ বাদ দিয়া)

A glass bottle with a fine stem when immersed in melting ice just contains 300 gms. of mercury. Calculate the amount of mercurry that will overflow if the bottle is kept a sufficiently long time in boiling water the barometric pressure being 76 cms. Would the amount of heat be different if the pressure had been considerably lower? (Coefficient of app. exp. of mercury = $\frac{1}{6400}$)

(C. U. 1943)

$$\gamma' = \frac{m_1 - m_2}{m_2(t_1 - t_2)}$$

এখানে m_1 = ৩০০ গ্রাম, t_1 = 0°C, t_2 = ১০০°C, γ' = $\frac{১}{৬৪০০}$

(যেহেতু বায়ুর চাপ = ৭৬ সেঃ মিঃ $\therefore$ ফুটন্ত জলের উষ্ণতা = ১০০°C)

$$\frac{১}{৬৪০০} = \frac{৩০০ - m_2}{m_2 \times ১০০}$$

$\therefore \quad m_2 = ৬৫(৩০০ - m_2)$ বা $m_2 = ২৯৫'৪৫$ গ্রাম

$\therefore \quad m_1 - m_2 = ৪'৫৫$ গ্রাম। এই পারদ নির্গত হইবে।

হ্যাঁ, পার্থক্য হইবে। কারণ জল ১০০°C এর কম উষ্ণতায় ফুটিবে।

2. A weight thermometer contains 24 gms of mercury at 0°C. On being heated to 100°C. it is found to contain only 23·622 gms. Calculate the coefficient of linear expansion of the envelope if the coefficient of absolute expansion of mercury is ·000 18 (C. U. 1945).

γ (প্রকৃত প্রসারাঙ্ক) = γ' (আপাত প্রসারাঙ্ক) + γ_g

$$\therefore \quad \gamma_g = \gamma - \gamma'$$

$$\gamma' = \frac{m_1 - m_2}{m_2(t_2 - t_1)} = \frac{২৪ - ২৩'৬২২}{২৩'৬৬২ \times ১০০} = '০০০১৬০৪$$

$$\gamma_g = '০০০১৮ - '০০০১৬০৪ = '০০০০১৯৬$$

$$\gamma = ৩\alpha \quad \therefore \quad \alpha = \frac{'০০০০১৯৬}{৩} = '০০০০০৬৫৩ \text{ ।}$$

3. A piece of glass weighs 47 gms. in air, 31·53 grams in water at 4°C and 31·75 gms. in water at 60°C. Find the mean co-efficient of cubical expansion of water between 4°C and 60°C taking that of glass as ·000024. (C. U. 1922).

৪°Cতে অপসারিত জলের ওজন = ৪৭ − ৩১'৫৩ = ১৫'৪৭ গ্রাম

$\therefore$ অপসারিত জলের আয়তন = ১৫'৪৭ ঘ. সেঃ মিঃ = ৪°Cতে কাচের আয়তন।

৬০°Cতে এই কাচের আয়তন = ১৫'৪৭ {১ + '০০০০২৪(৬০ − ৪)}

= ১৫'৪৯ ঘ সেঃ মিঃ = ৬০°Cতে অপসারিত জলের আয়তন

৬০°Cতে অপসারিত জলের ওজন = ৪৭ − ৩১'৭৫ = ১৫'২৫ গ্রাম

$\therefore$ ৬০°Cতে জলের ঘনাঙ্ক = ১৫'২৫ ÷ ১৫'৪৯

৪°Cতে জলের ঘনাঙ্ক = ১। যদি ৬০°Cতে জলের ঘনাঙ্ক d হয় এবং জলের প্রসারাঙ্ক γ হয় তবে

$$d = ১\{১ - \gamma(৬০ - ৪)\} \quad \therefore \quad \frac{১৫'২৫}{১৫'৪৯} = ১\{১ - \gamma(৬০ - ৪)\}$$

$$\therefore \quad \gamma = '০০০২৭৬ \text{ ।}$$

প্রশ্ন

1. Distinguish between real and apparent expansion of a liquid. (C. U. 1916, '22, '30, '43, D. U. 1938).

2. What is the difference between apparent and real expansions of a liquid? How are they related? (C. U. 1942, A. U. 1924, P. U. 1918, D. U. 1927). Show the relation between density and cubical expansion.

3. Describe a simple method of determining the apparent co-efficient of expansion of a liquid. (C. U. 1626, 30, 45, D. U, 1927, 38, A. U. 1924, 44).

4. Describe a method of finding the co-efficient of real expansion of a liquid. (D. U. 1927, A. U. 1913, P. U, 1918).

5. Show by experiment that water has maximum density at 4°C. How does mercury differ from water in this respect? (C. U. 1937).

গ্যাসের প্রসারণ (Expansion of Gases).

৩৬। **গ্যাসের প্রসারণের বৈশিষ্ট্য** : (ক) তাপ প্রয়োগে গ্যাস তরলের ন্যায় আয়তনে প্রসারিত হয়। ইহার দৈর্ঘ্য বা ক্ষেত্রফলের প্রসারণ বলিয়া কিছু নাই। (খ) বিভিন্ন কঠিন ও তরলের প্রসারাঙ্ক বিভিন্ন হয় কিন্তু সব গ্যাসের প্রসারাঙ্ক প্রায় এক। (গ) কঠিন ও তরলের চেয়ে গ্যাসের প্রসারণ খুব বেশী। (ঘ) কঠিন ও তরল শুধু তাপ প্রয়োগে প্রসারিত হয়। চাপ প্রয়োগে ইহাদের প্রসারণ এত ক্ষুদ্র যে ইহাকে হিসাবে ধরা হয় না। গ্যাস যেমন নির্দিষ্ট চাপে তাপ প্রয়োগে বেশী প্রসারিত হয় তেমনি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় চাপ প্রয়োগে বেশী প্রসারিত হয়। গ্যাসের প্রসারাঙ্ক নিরূপণ করিতে হইলে উষ্ণতা ও চাপ দুইই উল্লেখ করিতে হয়।

৩৭। **গ্যাসের নিয়ম** (Gas Laws): উপরোক্ত বৈশিষ্ট্য অনুসারে কোনও সময়ে গ্যাসের অবস্থা বর্ণনা করিতে হইলে গ্যাসের **চাপ, উষ্ণতা** ও **আয়তন**—তিনটি বিষয়ের উল্লেখ করিতে হয়। এই তিনটিকে গ্যাসের **চল** (Variables) বলে। নিম্নলিখিত গ্যাসের নিয়ম দ্বারা ইহাদের সম্পর্ক স্থিরীকৃত হয়।

(ক) **বয়েলের সূত্র** (Boyle's laws): যে কোন নির্দিষ্ট নির্দিষ্ট ভরের যে কোন গ্যাসের আয়তন চাপের ব্যস্তানুপাতিক হয়। ইহার বিষয় পূর্বে বলা হইয়াছে।

(খ) **চার্লস সূত্র** (Charle's law): যে কোন নির্দিষ্ট চাপে প্রতি ১°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য নির্দিষ্ট ভরের আয়তন ইহার O°C উষ্ণতায় আয়তনের নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ ($\frac{১}{২৭৩}$) দ্বারা বৃদ্ধি পায়। মনে কর O°C ও t°C উষ্ণতায় কোন গ্যাসের আয়তন যথাক্রমে V_o ও V_t হয়।

$\therefore$ t°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য আয়তন-বৃদ্ধি $= V_o \times \frac{১}{২৭৩} \times t$

$$\therefore \quad V_t = V_o + V_o \times \frac{t}{২৭৩} = V_o\left(১ + \frac{t}{২৭৩}\right) \cdots\cdots (২০)$$

O°C উষ্ণতায় কোন গ্যাসের আয়তন ১ ঘন সেঃ মিঃ হইলে ৫০°C উষ্ণতায় আয়তন ($১ + \frac{৫০}{২৭৩}$) ঘঃ সেঃ মিঃ হয়।

দ্রষ্টব্য: গ্যাস ১°C উষ্ণতা পরিবর্তনের জন্য কঠিন ও তরলের চেয়ে অনেক বেশী পরিমাণ প্রসারিত হয় সেইজন্য গ্যাসের বেলায় প্রাথমিক আয়তন O° উষ্ণতার আয়তন ধরা হয়।

(গ) **চাপের সূত্র** (Law of Pressure): যে কোন নির্দিষ্ট আয়তনে প্রতি ১°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ ইহার O°C উষ্ণতায় চাপের একটি নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ ($\frac{১}{২৭৩}$) বৃদ্ধি পায়। মনে কর O°C ও t°C উষ্ণতায় কোন গ্যাসের চাপ যথাক্রমে P_o ও P_t হয়।

$\therefore$ t°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য চাপ-বৃদ্ধি $= P_o \times \frac{১}{২৭৩} \times t$

$$\therefore \quad P_t = P_o + P_o \times \frac{t}{২৭৩} = P_o\left(১ + \frac{t}{২৭৩}\right) \cdots\cdots (২১)$$

O°C উষ্ণতায় কোন গ্যাসের চাপ ৭৬০ সেঃ মিঃ হইলে ৯১°C উষ্ণতায় চাপ ($৭৬০ + ৭৬০ \times \frac{৯১}{২৭৩} =$) $৭৬০ + ৭৬০ \times \frac{১}{৩}$ সেঃ মিঃ হইবে।

এই নিয়মটি Boyles ও Charles Law হইতে পাওয়া যায় (পরে দ্রষ্টব্য)।

৩৮। **প্রসারাঙ্ক:** গ্যাসের দুইটি প্রসারাঙ্ক আছে: (ক) **আয়তন প্রসারাঙ্ক** (Volume Coefficient): নির্দিষ্ট চাপে ১°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য গ্যাসের আয়তন-বৃদ্ধির সহিত O°C উষ্ণতার আয়তনের যে অনুপাত (ratio) তাহাকে **আয়তন-প্রসারাঙ্ক** বলে। মনে কর O°C ও t°C উষ্ণতায় গ্যাসের আয়তন যথাক্রমে V_0 ও V_t হয়। উষ্ণতা-বৃদ্ধি $= t° - o° = t°C$

$\therefore$ ১°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য আয়তন-বৃদ্ধি $= \dfrac{V_t - V_0}{t}$

$\therefore$ আয়তন-প্রসারাঙ্ক $= \gamma_p = \dfrac{V_t - V_0}{V_0 t}$ ......(২২)

(খ) **চাপ-প্রসারাঙ্ক** (Pressure Coefficient): নির্দিষ্ট আয়তনে ১°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য গ্যাসের চাপ-বৃদ্ধির সহিত O°C উষ্ণতার চাপের যে অনুপাত তাহাকে **চাপ-প্রসারাঙ্ক** বলে। মনে কর O°C ও t°C উষ্ণতায় গ্যাসের চাপ যথাক্রমে P_0, P_t হয়। $\therefore$ ১°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য চাপ-বৃদ্ধি $= \dfrac{P_t - P_0}{t}$ $\therefore$ চাপ-প্রসারাঙ্ক $= \gamma_v = \dfrac{P_t - P_0}{P_0 t}$ ...... (২৩)

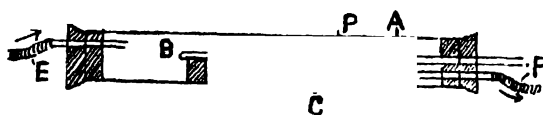
৩৯। **γ_p ও γ_vর সম্পর্ক:** মনে কর চাপ অপরিবর্তিত রাখিয়া কোন গ্যাসের উষ্ণতা O°C হইতে t°C বাড়াইলে আয়তন V_0 হইতে V_t হয়।

$\therefore$ $V_t = V_0 (1 + \gamma_p t)$—(১)। মনে কর উষ্ণতা t°Cতে অপরিবর্তিত রাখিয়া চাপ P_0 হইতে P_t বাড়াইলে আয়তন V_t হইতে V_0তে আবার কমে $\therefore$ $P_0 V_t = P_t V_0$ (বয়েলের সূত্র) (২)। সুতরাং (১) ও (২) হইতে $P_t = P_0 (1 + \gamma_p t)$ '২৩নং সূত্র অনুসারে $P_t = P_0(1 + \gamma_v t)$ $\therefore$ $P_0(1 + \gamma_p t) = P_0(1 + \gamma_v t)$

$$\therefore \gamma_p = \gamma_v \cdots\cdots (২৪)$$

অর্থাৎ আয়তন-প্রসারাঙ্ক = চাপ-প্রসারাঙ্ক। যে সব গ্যাস বয়েলের সূত্র মানে তাহাদের পক্ষে এই সমীকরণ প্রয়োজ্য।

৪০। **আয়তন-প্রসারাঙ্ক নিরূপণ: চার্লস নিয়ম পরীক্ষা:** (ক) **যন্ত্র**—A একটি ৫০ সেঃ মিঃ দীর্ঘ ও সমব্যাসের (১ মিঃ মিঃ) কাচনল। পাম্প দিয়া ইহার ভিতর শুষ্ক বায়ু প্রবাহিত করাও। ইহার B মুখ আগুনে গলাইয়া

বন্ধ কর। নলের অপর মুখ শুষ্ক ও বিশুদ্ধ পারদে ডুবাইয়া নলকে পর্যায়ক্রমে উষ্ণ ও শীতল করিলে একটুখানি পারদ নলে ঢুকিবে। এই পারদ সূচকের (index) কাজ করে। ঘরের উষ্ণতায় এই সূচক নলের মাঝামাঝি থাকিবে। নলের সহিত একটি মিলিমিটার স্কেল ও থার্মমিটার P বাঁধিয়া অপর একটি মোটা কাচপাত্রের (C) ভিতর অনুভূমিক ভাবে রাখ যাহাতে নলের খোলামুখ কাচ পাত্রের বাহিরে থাকে। কাচ পাত্রের দুই মুখ কর্ক দিয়া বন্ধ করা থাকে। কর্কে দুইটি ছোট কাচনল E ও F থাকে। এই নল দিয়া কাচপাত্রে জল বা ষ্টীম প্রবেশ করান ও বাহির করান যায়।

২০নং চিত্র

পরীক্ষা ঃ প্রথমে কাচপাত্রে হিম-শীতল জল প্রবেশ করাও। নলের ভিতরের বায়ু সংকুচিত হয়। পারদ-সূচক বাম দিকে সরিয়া যায়। উষ্ণতা স্থির হইলে থার্মমিটারে উষ্ণতা দেখ এবং নলের বন্ধ মুখ B হইতে পারদ-সূচকের ভিতরের দিকের প্রান্তের দূরত্ব মাপ। মনে কর উষ্ণতা $=0^\circ C$ এবং দূরত্ব = নলে বায়ুস্তম্ভে দৈর্ঘ্য $=l$. শীতল জলস্রোত বন্ধ করিয়া কাচপাত্রে ষ্টীম (১০০° উষ্ণতায়) প্রবেশ করাও। উষ্ণতা স্থির হইলে থার্মমিটারে উষ্ণতা দেখ এবং বন্ধ মুখ হইতে পারদের দূরত্ব মাপ। মনে কর উষ্ণতা = ১০০°C, দূরত্ব $=l'$.

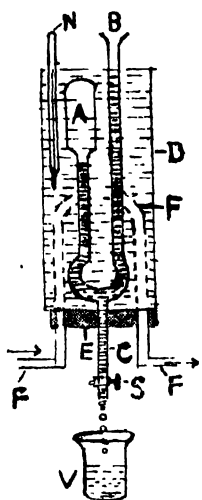
গণনা—A নলটি অনুভূমিক এবং মুখটি খোলা থাকায় ভিতরকার বায়ুর চাপ সর্বদাই বাহিরের বায়ুর চাপের সমান থাকে অর্থাৎ এই পরীক্ষায় চাপ অপরিবর্তিত রাখিয়া উষ্ণতা-বৃদ্ধি করিয়া নলের ভিতরের নির্দিষ্ট ভরের বায়ুর আয়তন-বৃদ্ধি মাপা হয়।

নলটি সর্বত্র সমান ব্যাসের হাওয়ায় আয়তন ও দৈর্ঘ্য সমানুপাতিক হয়। যদি α নলের ভিতরকার প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল (area of internal cross section) হয় তবে $0^\circ C$ উষ্ণতায় বায়ুর আয়তন $=l.\alpha$ এবং ১০০°C উষ্ণতায় বায়ুর আয়তন $=l'.\alpha$.

∴ বায়ুর আয়তন-প্রসারাঙ্ক $\gamma_p = \frac{l'\alpha - l\alpha}{l\alpha \times 100} = \frac{l' - l}{l.100}$। গণনায় $\gamma_p = \cdot 00366$৭।

বায়ুর পরিবর্তে যে কোন গ্যাস ব্যবহার করিলে γ_p এর মান একই হয়।

এখানে কাচের আয়তন-বৃদ্ধি গ্যাসের তুলনায় নগণ্য বলিয়া অগ্রাহ্য করা হইয়াছে।

(খ) **রেনল্ যন্ত্র** (Regnault's Apparatus): **যন্ত্রের বিবরণ**: এই যন্ত্রে U-আকৃতির AB নলের A প্রান্তে একটি শুষ্ক বায়ুপূর্ণ বাল্ব আছে এবং B প্রান্ত খোলা। বাল্বটি ও নলের খানিকটা বায়ুর আয়তন দেখার জন্য অংশাঙ্কিত করা থাকে। নলটি Sulphuric Acidএ ভর্তি থাকে। এই Acid বালবের বায়ুর জলীয় বাষ্প শোষণ করিয়া বায়ুকে শুষ্ক রাখে। এই Acidএর বাষ্পের চাপ খুব কম। এই দুই কারণে Sulphuric Acid ব্যবহার করা হয়। U-নলের নিম্নঅংশে S প্যাঁচকলযুক্ত ছোট নল C আছে। U-নলটি একটি বড় মোটা কাচ পাত্রে (D) লম্বভাবে বসান থাকে। D পাত্রের তলদেশ রবার কর্ক (E) দিয়া আটা। এই কর্কের মধ্য দিয়া C নল বাহির হয়। বড় পাত্রে এমনভাবে জল থাকে যে A বাল্বটি সম্পূর্ণরূপে জলে ডুবিয়া থাকে কিন্তু নলের খোলামুখ B জলের উপরে থাকে। জলের মধ্যে দিয়া একটি বাঁকান তামার নল F ঢোকান থাকে। ইহার দুই মুখ D পাত্রের বাহিরে থাকে। জলকে ভালভাবে নাড়িবার জন্য একটি আলোড়ক (stirrer) থাকে। বাল্বের পাশে একটি থার্মমিটার N ঝুলান থাকে।

২১নং চিত্র

পরীক্ষা: D পাত্রে জল ঢাল। বালবের বায়ুকে জলের উষ্ণতায় আনিবার জন্য কিছুক্ষণ অপেক্ষা কর। B মুখ দিয়া নলে কিছু Acid ঢালিয়া কিংবা প্যাঁচকল খুলিয়া C নল দিয়া কিছু Acid বাহির করিয়া দুই বাহুতে Acidএর

তল সমান কর। অতএব A বাল্‌বের বায়ুর চাপ = বাহিরের বায়ু মণ্ডলের চাপ : মনে কর বাল্‌বের বায়ুর উষ্ণতা = t_1, আয়তন = V_1। জলের মধ্যে অবস্থিত F নল দিয়া ষ্টীম (১০০°C) কিছুক্ষণ প্রবাহিত করাও। জলকে অনবরত নাড়িতে থাক। বালবের বায়ু প্রসারিত হইয়া A বাহুর Acidকে নীচে ঠেলিয়া দেয়, উহা B বাহুতে উপরে উঠে। যখন থার্মমিটারে উষ্ণতা স্থির হয় তখন কিছু Acid বাহির করিয়া দুই বাহুতে Acidএর তলকে পুনরায় সমান কর।

গণনা—মনে কর এখন উষ্ণতা = t_2°C ও আয়তন = V_2 এবং বায়ুর আয়তন-প্রসারাঙ্ক = γ_p

আমরা জানি $V_1 = V_0(1+\gamma_p t_1)$ এবং $V_2 = V_0(1+\gamma_p t_2)$

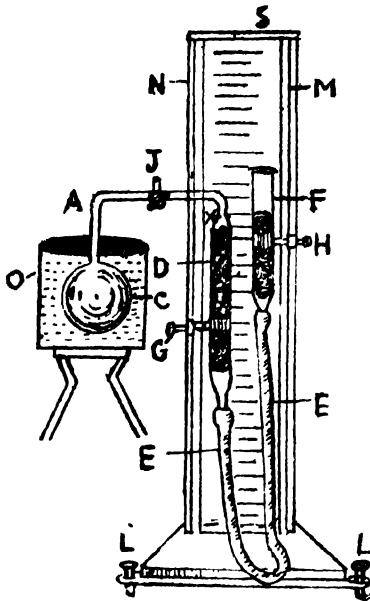
$\therefore \frac{V_2}{V_1} = \frac{1+\gamma_p t_2}{1+\gamma_p t_1}$ এখানে V_1, V_2, t_1, t_2 জানা আছে সুতরাং γ_p বাহির করা যায়।

এই দুইটি যন্ত্রে চাপ স্থির থাকে এবং ইহাদের দ্বারা উষ্ণতা মাপা যায় বলিয়া ইহাদিগকে **স্থির-চাপ থার্মমিটার** (Constant Pressure Thermometer) বলে। (পরে দেখ)

৪১। চাপ-প্রসারাঙ্ক নিরূপণ : জলির যন্ত্র (Jolly's apparatus) :

যন্ত্রের বিবরণ—মোটা কাচের কৌশিক নল Aর এক প্রান্তে শুষ্ক ও পরিষ্কার বায়ুপূর্ণ একটি বাল্‌ব C আছে এবং অপর প্রান্তে মোটা নল D আছে। A নলটি দুইবার সমকোণে বাঁকান আছে। D নলটি মোটা রবার নল E দ্বারা অপর একটি মোটা কাচ নল Fএর সঙ্গে যোগ করা আছে। F নলের মুখ খোলা। F ও D নলকে দুই লম্ব দণ্ড M ও N বরাবর উঠান বা নামান যায় এবং যে কোন অবস্থানে H ও G বন্ধনী দ্বারা আটকান যায়। দণ্ড দুইটি কাঠের ফ্রেমে আবদ্ধ আছে। একটি স্কেল S কাঠের ফ্রেমে দণ্ডদ্বয়ের মাঝখানে আটা আছে। কাঠের ফ্রেমের নীচে তিনটি স্ক্রু L আছে। A নলের মাঝখানে একটি তিন পথযুক্ত (three way) প্যাঁচকল J আছে। ইহার মধ্য দিয়া বাল্‌বকে গ্যাসপূর্ণ বা শূন্য করা যায়। E রবার নল এবং D ও F নলের কিয়দংশ শুষ্ক

পারদ পূর্ণ থাকে। D নলে একটি চিহ্ন × দেওয়া থাকে। প্রত্যেক বার চাপ পড়িবার সময় পারদকে এই × দাগ পর্যন্ত আনা হয় সুতরাং বাল্‌বের বায়ুর আয়তন প্রত্যেক বার একই থাকে।

২২নং চিত্র

পরীক্ষা: একটি পাত্রে (O) হিম-শীতল জল ঢালিয়া বাল্‌বকে জলের মধ্যে ডুবাইয়া রাখ। D নলকে G বন্ধনী দিয়া আটকাও। বায়ুর উষ্ণতা কমিবে, চাপও কমিবে। D নলে পারদ উপরের দিকে উঠিতে চেষ্টা করিবে। F নলকে উঠাইয়া বা নামাইয়া D নলের পারদকে নির্দিষ্ট চিহ্ন × পর্যন্ত আন। এখন F নলকে H বন্ধনী দিয়া আটকাও। দুই নলে পারদের পার্থক্য নির্ণয় কর। মনে কর ইহা $=h_1$ এবং উষ্ণতা $=0°C$. যদি বায়ুমণ্ডলের চাপ H হয় এবং F নলের পারদ তল × চিহ্নের উপর দিয়া অঙ্কিত অনুভূমিক তলের উপরে হয় তবে 0°C উষ্ণতায় বাল্‌বের বায়ুর চাপ $P_0=H+h_1$ হবে (যদি F নলের পারদতল × চিহ্নের উপর দিয়া অঙ্কিত অনুভূমিক তলের নীচে হয় তবে $P_0=H-h_1$)। O পাত্রের জলকে দীপের (burner) সাহায্যে গরম কর। পাঁচ ডিগ্রি অন্তর উষ্ণতা স্থির রাখিয়া ও উপরোক্ত প্রণালীতে বায়ুর আয়তন × চিহ্নে লইয়া আসিয়া বাল্‌বের বায়ুর চাপ নির্ণয় কর। এইরূপে দেখা যাইবে যে প্রত্যেক পাঁচ ডিগ্রি অন্তর উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য চাপ-বৃদ্ধির পরিমাণ একই হয়। মনে কর ১০০°C উষ্ণতায় বাল্‌বের বায়ুর চাপ $P_{১০০}=H+h_2$.

$$\gamma_v=\frac{P_{১০০}-P_0}{P_0\times ১০০}=\cdot০০৩৬৬৩।$$

এই যন্ত্রে গ্যাসের আয়তন সব সময়েই চিহ্ন পর্য্যন্ত আনা হয় এবং এই যন্ত্র দিয়া উষ্ণতা মাপা যায় সেইজন্য এই যন্ত্রকে **স্থির-আয়তন** (Constant Volume) থার্মমিটার বলে।

৪২। লেখ (Graph) : লেখ কাগজে বিভিন্ন উষ্ণতাকে ভুজ ও আনুসঙ্গিক চাপ বা আয়তনকে কোটি ধরিয়া দুইটি পৃথক ছক টানিলে ছক দুইটি সরল রেখা হইবে। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে যখন চাপ অপরিবর্তিত থাকে তখন আয়তন-বৃদ্ধি ও উষ্ণতা-বৃদ্ধি সমানুপাতিক হয় এবং যখন আয়তন অপরিবর্তিত থাকে তখন চাপবৃদ্ধি ও উষ্ণতা-বৃদ্ধি সমানুপাতিক হয়। এই সরল রেখা দুইটিকে পশ্চাৎদিকে বাড়াইলে উহা উষ্ণতা অক্ষকে—২৭৩°C উষ্ণতায় স্পর্শ করে। ইহার অর্থ যে —২৭৩°C উষ্ণতায় গ্যাসের আয়তন বা চাপ শূন্য হয়। লেখ হইতে 0°C উষ্ণতায় ও t°C উষ্ণতায় চাপ ও আয়তন দেখিয়া γ_p ও γ_v গণনা করা যায়।

৪৩। গ্যাস থার্মমিটার (Gas Thermometer) : স্থিরায়তন বা স্থির-চাপ থার্মমিটারে কোন স্থায়ী (permanent) গ্যাস ব্যবহার করিয়া আমরা যথাক্রমে চাপ-বৃদ্ধি বা আয়তন-বৃদ্ধি দেখিয়া $t = \frac{P_t - P_0}{P_0 \gamma_v}$ বা $t = \frac{V_t - V_0}{V_0 \gamma_p}$ এই দুইটি সমীকরণ সাহায্যে অজ্ঞাত উষ্ণতা t গণনা করিতে পারি। (যে গ্যাস বয়েলের সূত্র মানিয়া চলে তাহাকে স্থায়ী গ্যাস বলে)।

এখানে γ_p বা $\gamma_v = \frac{1}{273}$। কার্যতঃ স্থিরায়তন গ্যাস থার্মমিটার বেশী সুবিধাজনক ও নির্ভুল। স্থিরায়তন হাইড্রোজেন থার্মমিটার খুব নির্ভুল। ইহাকে মান (standard) থার্মমিটার ধরিয়া ইহার সহিত অন্য থার্মমিটারের তুলনা করা হয়। জোলির যন্ত্রে বাল্‌ব হাইড্রোজেন পূর্ণ করা হয় এবং F নলের মুখ বন্ধ রাখা হয়। F নলে পারদের উপরের স্থান শূন্য থাকে। কাজেই এখানে বায়ুমণ্ডলের চাপ হিসাবে আনা হয় না। হিলিয়াম গ্যাস ব্যবহার করিয়া প্রায় চরম শূন্য (absolute zero) পর্যন্ত উষ্ণতা মাপা যায়। Nitrogen গ্যাস ও পোর্সলিনের বাল্‌ব ব্যবহার করিয়া ১০০০°C উষ্ণতার বেশী উষ্ণতা মাপা যায়।

গ্যাস থার্মমিটারের (১) সুবিধা : (ক) গ্যাসের প্রসারণ তরলের অপেক্ষা খুব বেশী (পারদের প্রসারণ অপেক্ষা গ্যাসের প্রসারণ বিশ গুণ) সেইজন্য গ্যাস থার্মমিটার পারদ থার্মমিটার অপেক্ষা বেশী সুবেদী (sensitive) হয়। (খ) সব গ্যাসের প্রসারণ-মাত্রা একই উষ্ণতার পার্থক্যে সমান এবং নিম্নতম উষ্ণতা হইতে উচ্চতম উষ্ণতা পর্য্যন্ত প্রায় এক থাকে। (গ) পোর্সলিনের বালব ব্যবহার করিয়া গ্যাস থার্মমিটারে খুব নিম্ন হইতে খুব উচ্চ উষ্ণতা পর্যন্ত মাপা যায়। (২) **অসুবিধা :** (ক) গ্যাস থার্মমিটারের যন্ত্রটি খুব বড়, সাধারণ কাজে ব্যবহারের অযোগ্য, স্থানান্তর করা অসুবিধাজনক। (খ) চাপ দেখার জন্য ব্যারোমিটারের দরকার হয়। (গ) ক্যালোরিমিতিতে ইহা ব্যবহার করা চলে না। (ঘ) ইহার গায়ে স্কেলের দাগ কাটা চলে না।

৪৪। **উষ্ণতার চরম স্কেল** (Absolute Scale of Temperature) : চার্লসের সূত্র অনুসারে $V_t = V_0 \left(১ + \frac{t}{২৭৩} \right)$ অর্থাৎ প্রত্যেক ১°C উষ্ণতা হ্রাস-বৃদ্ধির জন্য গ্যাসের আয়তন O°C উষ্ণতায় যে আয়তন থাকে সেই আয়তনের $\frac{১}{২৭৩}$ ভাগ কমে বা বাড়ে। সুতরাং যদি O°C উষ্ণতায় কোন গ্যাসের আয়তন V_0 ঘন সেঃ মিঃ হয় তবে −২৭৩°C উষ্ণতায় উহার আয়তন $V_{-২৭৩} = V_0 \times (১ - \frac{২৭৩}{২৭৩}) = O$ ঘঃ সেঃ মিঃ হইবে অর্থাৎ গাণিতিক হিসাবে −২৭৩°C উষ্ণতায় সব গ্যাসের আয়তন শূন্য হয়। ইহার নীচে গ্যাসকে আরও শীতল করিলে আয়তন ঋণাত্মক হইবে। ইহা একটা অবাস্তব ব্যাপার।

গ্যাস থার্মমিটারে −২৭৩C° সর্বনিম্ন উষ্ণতা। গ্যাস থার্মমিটারে এই মানকে **চরম শূন্য** (Absolute Zero A°) বলে। যে স্কেলে −২৭৩°C উষ্ণতাকে শূন্য ধরিয়া প্রত্যেক ডিগ্রিকে সেন্টিগ্রেড ডিগ্রির সমান করা হয় তাহাকে **চরম স্কেল** (Absolute Scale) বলে। এই স্কেলে মাপা উষ্ণতাকে **চরম উষ্ণতা** (Absolute Temperature) বলে। ইহাকে T°A লেখা হয়। এই স্কেল অনুসারে O°C = ২৭৩°A, ১০০°C = ২৭৩ + ১০০ = ৩৭৩°A ∴ চরম স্কেলে পঠন = সেণ্টিগ্রেড পঠন + ২৭৩ (T°A = t°C + ২৭৩)। যেহেতু ২৭৩°C =

৪৯১'৪°F. ∴ চরম শূন্য = ৩২ − ৪৯১'৪ = −৪৫৯'৪°F চরম স্কেলে পঠন = ফারেনহিট স্কেলে পঠন + ৪৫৯'৪.

আমরা পূর্বে ছক হইতে দেখিয়াছি −২৭৩°C উষ্ণতায় গ্যাসের আয়তন বা চাপ শূন্য ০ হয়।

* চরম শূন্য কার্যতঃ আজ পর্যন্ত গ্যাস থার্মমিটারে পাওয়া যায় নাই। কারণ সব গ্যাসই এই চরম শূন্য উষ্ণতায় পৌছিবার পূর্বেই তরল কিংবা কঠিনে পরিণত হয়। বায়ু −১৮৪°C, হাইড্রোজেন −২৬৯°C উষ্ণতায় তরল হয়। চরমশূন্য উষ্ণতায় পৌছিলে গ্যাসের গতীয় শক্তি লুপ্ত হয়।

৪৫। **চার্লস সূত্রের অন্য আকার** (Forms) : $V = V_0\left(১+\frac{t}{২৭৩}\right)$

এবং $V^1 = V_0\left(১+\frac{t^1}{২৭৩}\right)$

$\therefore \frac{V}{V^1} = \frac{২৭৩+t}{২৭৩+t^1} = \frac{T}{T^1}$ (t ও t^1 ডিগ্রি সেন্টিগ্রেড = T ও T^1 চরম স্কেল)

$$\therefore \frac{V}{T} = \frac{V^1}{T^1} = \text{ধ্রুবক, যখন } P = \text{ধ্রুবক}$$

$$\therefore V \propto T, \text{ যখন } P = \text{ধ্রুবক} \cdots (২৫)$$

কথায়, নির্দিষ্ট চাপে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন ও চরম উষ্ণতা সমানুপাতিক হয়।

আবার চাপের নিয়ম হইতে $\frac{P}{P^1} = \frac{২৭৩+t}{২৭৩+t^1} = \frac{T}{T^1}$.

$\therefore \frac{P}{T} = \frac{P^1}{T^1}$ = ধ্রুবক, যখন V ধ্রুবক $\therefore P \propto T$ যখন V ধ্রুবক ···(২৬)

কথায়, নির্দিষ্ট আয়তনে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ ও চরম উষ্ণতা সমানুপাতিক হয়।

৪৬। **গ্যাস সূত্রগুলির সমন্বয় (Combination of Gas laws) :—**

মনে কর P চাপে ও T চরম উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন $= V_o$. এখন P^1 চাপে T^1 চরম উষ্ণতায় ঐ গ্যাসের আয়তন V^1 কত হইবে তাহা বাহির করিতে হইবে। (১) প্রথমে উষ্ণতা নির্দিষ্ট রাখিয়া গ্যাসের চাপ P হইতে P^1এ পরিবর্তিত করা হইল। মনে কর এখন আয়তন V হইতে V_1 হইল,

$\therefore$ বয়েলের সূত্র অনুসারে $PV = P^1V_1$ $\therefore$ $V = \frac{PV}{P^1}$ ...(১)

(২) এখন চাপ P^1তে নির্দিষ্ট রাখিয়া উষ্ণতা T হইতে T^1 পরিণত কর। এখন যদি আয়তন V_1 হইতে V^1 হয় তবে

$$\frac{V_1}{T} = \frac{V^1}{T^1} \text{ বা (১) হইতে } \frac{PV}{P^1T} = \frac{V^1}{T^1}$$

$$\therefore \frac{PV}{T} = \frac{P^1V^1}{T^1} = \text{ ধ্রুবক (মনে কর R)}$$

$\therefore$ **PV = RT**...(২৭) যেখানে R = গ্যাস ধ্রুবক (Gas Constant)। কথায়, নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ ও আয়তনের গুণফল চরম উষ্ণতার সমানুপাতিক হয়। Rএর মান গ্যাসের ভরের উপর নির্ভর করে। Rএর মান $৮\cdot৩ \times ১০^৭$ আর্গ প্রতি ১°C।

এই সমীকরণকে **গ্যাস বা অবস্থা সমীকরণ** (Gas equation or equation of state) বলে। কারণ গ্যাসের P, V, T এর মধ্যে দুইটি জানা থাকিলে তৃতীয়টি বাহির করিয়া গ্যাসের অবস্থা সম্পূর্ণ জানা যায়।

O°C উষ্ণতাকে ও ৭৬ সেঃ মিঃ হিম-শীতল পারদের চাপকে গ্যাসের প্রমাণ উষ্ণতা ও চাপ (Normal temperature and pressure N. T. P) বলে।

৪৭। **গ্যাসের ঘনত্বের পরিবর্তন :—**

আমরা জানি $V = \frac{M}{D}$, $V^1 = \frac{M}{D^1}$, $PV = P^1V^1$ $\therefore$ $\frac{PM}{DT} = \frac{P^1M}{D^1T^1}$

$$\therefore \frac{P}{D} = \frac{P^1}{D^1} \text{ যখন } T = T^1 \text{...(২৮)}$$

অর্থাৎ একই উষ্ণতায় গ্যাসের ঘনাঙ্ক ও চাপ সমানুপাতিক হয়

আবার যখন $P = P^1$ তখন $DT = D^1T^1$ *or* $\frac{D}{T^1} = \frac{D_1}{T}$...(২৯)

অর্থাৎ একই চাপে গ্যাসের ঘনাঙ্ক ও চরম উষ্ণতা ব্যস্তানুপাতিক হয়।

অঙ্ক ১। A litre of air at 10°C is heated until both volume and pressure are doubled. What is the temperature? (C. U. 1937)

$$\frac{PV}{T}=\frac{P^1V^1}{T^1} \quad \therefore \quad \frac{PV}{২৭৩+১০}=\frac{২P\times২V}{২৭৩+t}. \text{ বা } ২৮৩\times৪=২৭৩+t.$$

$$\therefore \quad t=১১৩২-২৭৩=৮৫৯°C$$

২। A volume of air at N. T. P is compressed to $\frac{1}{6}th$ of its original volume. What will be the new pressure? (C. U. 1920)

$$PV=P^1V^1 \quad \therefore \quad P^1=\frac{PV}{V^1}=\frac{PV}{\frac{1}{6}V}=6P \quad \therefore \text{ চাপ ৬ গুণ বাড়িবে।}$$

৩। The density of air at N. T. P is ·00129 gm per c.c. Find the alteration in the weight of 15 litres of air when barometer falls from 76 c.m. to 74 c. m. (C. U. 1938)

মনে কর V = আয়তন যখন চাপ ৭৬ হইতে ৭৪ সেঃ মিঃ হয়

$$\therefore \quad V\times৭৬=১৫\times৭৪$$

$$\therefore \quad V=\frac{১৫\times৭৪}{৭৬}\times১০০০ \text{ ঘঃ সেঃ মিঃ}$$

প্রমাণ উষ্ণতা ও চাপে এই আয়তনের বায়ুর ওজন

$$=\frac{১৫\times৭৪০০০}{৭৬}\times·০০১২৯$$

কিন্তু ১৫ লিটার বায়ুর ওজন $=১৫\times১০০০\times·০০১২৯$

$$\therefore \text{ নির্ণেয় পার্থক্য } =১৫০০০\times·০০১২৯\left(১-\frac{৭৪}{৭৬}\right)$$

$$=·৫০৯৩ \text{ গ্রাম}$$

৪। Given that one litre of hydrogen at N. T. P weighs ·0896 gm. Calculate the value of R for a gramm of the gas. (C. U. 1938)

$$R=\frac{PV}{T}.$$

'০৮৯৬ গ্রাম গ্যাসের আয়তন = ১০০০ ঘ: সে: মি:

$\therefore$ ১ „ „ „ $=\dfrac{১০০০}{০৮৯৬}$ „ „

P = ৭৬ × ১৩'৬ × ৯৮১ ডাইন/বর্গ: সে: মি:। $V=\dfrac{১০০০}{'০৮৯৬}$. T = ২৭৩

$$R=\frac{৭৬ \times ১৩'৬ \times ৯৮১ \times ১০০০}{২৭৩ \times '০৮৯৬}=৪'১৪৫ \times ১০^{৭}$$ আর্গ.

প্রশ্ন

1. State the laws connecting volume, pressure and temperature of a gas. Describe an experiment to prove the relation between pressure and temperature when the volume is kept constant.
(C. U. 1912, '18, '33, P. U. 1926)

2. Establish the equation PV = RT for a gas.
(C. U. 1938, A. U. 1929)

3. What is meant by Absolute Temperature? Find the value of the absolute zero on the Fahrenheit scale.
(C. U. 1932, '36, '38, P. U. 1928)

4. Prove that volume coefficient = pressure coefficient.
(C. U. 1933, A. U. 1920)

5. Describe an experiment to find volume coefficient at constant pressure. (C. U. 1929, '40, '35, '40, P. U. 1932)

6. Explain how the thermal expansion of air can be altered as a convenient means of measuring temperature. (A. U. 1910)

ক্যালোরিমিতি (Calorimetry).

৪৮। **তাপের পরিমাণ ঃ** তাপ অন্যান্য শক্তির ন্যায় একটি পরিমাপ যোগ্য রাশি (measurable quantity)। ১০ গ্রাম জলের ২০°C হইতে ৩০°C পর্যন্ত উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ তাপ দরকার ২০ গ্রাম জলের একই পরিমাণ তাপ বৃদ্ধি করিতে কিংবা ১০ গ্রাম জলের ২০°C হইতে ৪০°C পর্যন্ত উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে ইহার দ্বিগুণ তাপ দরকার।

ক্যালোরিমিতি পদার্থের তাপের পরিমাণ মাপার বিষয়ে আলোচনা করে। যে যন্ত্র দিয়া ইহা মাপা হয় তাহাকে **ক্যালরিমান পাত্র** বা **ক্যালরিমিটার** বলে। ইহা একটি তামার মোটা একমুখ বন্ধ চোঙ। চোঙের ভিতরে পদার্থ নাড়িবার একটি তামার আলোড়ক (stirrer) থাকে।

৪৯। **তাপের একক**—এক গ্রাম বিশুদ্ধ জলের উষ্ণতা ৪°C হইতে ৫°C পর্যন্ত বাড়াইতে যে তাপ দরকার হয় তাহা তাপের একক। ইহাকে **ক্যালরি** (Calorie) বলে। O°C হইতে ১০০°C পর্যন্ত যে কোন উষ্ণতায় প্রতি ১°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য এক গ্রাম জল সমান তাপ লয় না। কিন্তু এই পার্থক্য এত কম যে সাধারণ ব্যাপারে এক গ্রাম জলের ১°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য যে তাপ দরকার হয় তাহাকে ক্যালরি ধরা হয়। এক গ্রাম জলের ১°C উষ্ণতা-হ্রাস হইলে এক ক্যালরি তাপ ত্যাগ করে। বর্তমানে আন্তর্জাতিক ক্যালরি (International Calorie) হইতেছে ১৪.৫°C হইতে ১৫.৫°C পর্যন্ত ১ গ্রাম জলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ তাপ দরকার হয়। ভরের একক ও উষ্ণতার স্কেল বদলাইলে তাপের একক বদলায় যথা :

১ পাউণ্ড জলের ১°F উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপকে পাউণ্ড-ফারেনহিট একক বা ব্রিটিশ থার্মাল (B. Th. U) একক বলে। এইরূপ ১ পাউণ্ড জলের ১°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপকে পাউণ্ড-সেন্টিগ্রেড একক বলে। ১০০০ পাউণ্ড জলের উষ্ণতা ১০০°F বাড়াইতে যে তাপ দরকার তাহাকে **থার্ম** (Therm) বলে।

১ পাউণ্ড-ফারেনহিট একক $=$(৪৫৩.৬ $\times \frac{৫}{৯}$) $=$ ২৫২ ক্যালরি।

১ পাউণ্ড-সেন্টিগ্রেড একক $=$ ৪৫৩.৬ ক্যালরি।

m গ্রাম জল t°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য mt ক্যালরি তাপ গ্রহণ করে আবার m গ্রাম জল t° উষ্ণতা-হ্রাসের জন্য mt ক্যালারি তাপ ত্যাগ করে।

৫০। **তাপ মাপার নীতি :** মনে কর t_1°C উষ্ণতায় m_1 গ্রাম জল ও t_2°C উষ্ণতায় m_2 গ্রাম জল একটি পাত্রে মিশান হইল।

মনে কর মিশ্রণের উষ্ণতা $= t$°C এবং $t_2° > t_1°$ $\therefore$ t_1° হইতে t° ডিগ্রিতে উষ্ণ হইতে m_1 গ্রাম জল দ্বারা গৃহীত তাপ $= m_1 (t° - t_1)$ একক। t_2 হইতে t°তে শীতল হইতে m_2 গ্রাম জল দ্বারা পরিত্যক্ত তাপ $= m_2(t_2 - t)$ একক।

দুইটি বিভিন্ন উষ্ণতার পদার্থ সংস্পর্শে আনিলে যদি বাহির হইতে অন্য কোন উপায়ে তাপ চলাচল না হয় তবে উষ্ণ পদার্থ দ্বারা পরিত্যক্ত তাপ = শীতল পদার্থ দ্বারা গৃহীত তাপ।

$$\therefore \quad m_2(t_2 - t) \text{ একক} = m_1(t - t_1) \text{ একক}$$

$$\therefore \quad t = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2} \ldots (৩০)$$

১০° উষ্ণতার ১০০ গ্রাম জলের সহিত ৩০° উষ্ণতার ১০০ গ্রাম জল মিশাইলে মিশ্রণের উষ্ণতা ২০° হইবে। কিন্তু বিভিন্ন পদার্থ লইলে এই সমীকরণ খাটে না। কারণ এখানে আপেক্ষিক তাপের প্রশ্ন আসে।

৫১। **আপেক্ষিক তাপ** (Specific heat) : ১ গ্রাম জল ১০ ডিগ্রি উষ্ণ হইতে বা শীতল হইতে যে তাপ গ্রহণ বা ত্যাগ করে ১ গ্রাম লোহা ১০ ডিগ্রি উষ্ণ হইতে বা শীতল হইতে তার চেয়ে কম তাপ গ্রহণ বা ত্যাগ করে।

এক ক্যালরি তাপ এক গ্রাম জলকে ১°C, এক গ্রাম সীসা বা পারদকে ৩০°C, এক গ্রাম রূপাকে ২০°C, এক গ্রাম তামাকে ১০°C উষ্ণ করে। টিন, সীসা, তামা ও লোহার সমান ভরের (মনে কর এক পাউণ্ড) চারিটি বলকে গরম জলে রাখিয়া একই উষ্ণতায় গরম করিয়া তাড়াতাড়ি তুলিয়া একসঙ্গে মোটা মোমের বা বরফের চাকতির উপর রাখিলে যদিও বলগুলি একই উষ্ণতায় নামিবে তবুও প্রত্যেক বলটি বিভিন্ন পরিমাণ মোমকে বা বরফকে গলাইবে অর্থাৎ একই ভরের একই উষ্ণতা-হ্রাসের জন্য বিভিন্ন পদার্থের বল বিভিন্ন পরিমাণ তাপ ত্যাগ করে। এই ঘটনাটি পদার্থের ভর বা উষ্ণতার উপর নির্ভর করে না, পদার্থের কোন বিশেষ ধর্মের উপর নির্ভর করে।

কোন পদার্থের নির্দিষ্ট ভরের নির্দিষ্ট উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য যে তাপ প্রয়োজন হয় তাহা সমভর জলের সমান উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ অপেক্ষা অনুপাতে যে সংখ্যক গুণ বেশী বা কম হয় সেই সংখ্যাকে আপেক্ষিক তাপ বলে। যদি আপেক্ষিক তাপ S হয় তবে

$$S = \frac{m \text{ গ্রাম পদার্থের } t^\circ C \text{ উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}}{m \text{ গ্রাম জলের } t^\circ C \text{ উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}} \ldots (৩১)$$

$$= \frac{\text{১ গ্রাম পদার্থের ১°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}}{\text{১ গ্রাম জলের ১°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}}$$

$$= \frac{\text{১ গ্রাম পদার্থের ১°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ}}{\text{১ ক্যালরি}}$$

∴ আপেক্ষিক তাপ = এক গ্রাম পদার্থকে ১°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ (জলের আপেক্ষিক তাপ = ১)।

(৩২) হইতে, m গ্রাম পদার্থের t°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ $= s \times m$ গ্রাম জলের t°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য তাপ $= s \times mt$ ক্যালরি। আবার m গ্রাম পদার্থ t°C শীতল হইলে mst ক্যালরি তাপ ত্যাগ করে। ∴ নির্গত তাপ বা গৃহীত তাপ $= m \times s \times t =$ **পদার্থের ভর × আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতার পার্থক্য** (৩২)। এই সমীকরণ হইতে আমরা পাই :—(ক) একাধিক পদার্থের ভরের ও আপেক্ষিক তাপের গুণফল বিভিন্ন হইলে উষ্ণতার পার্থক্য বিভিন্ন হইবে। (খ) যদি বিভিন্ন পদার্থের ভর সমান হয় কিন্তু আপেক্ষিক তাপ অসমান হয় কিংবা ভর অসমান হয় কিন্তু আপেক্ষিক তাপ সমান হয় কিংবা ভর ও আপেক্ষিক তাপ দুইই অসমান হয় তবে সমান তাপ গ্রহণ বা ত্যাগ করিয়াও ঐ পদার্থগুলির উষ্ণতা-বৃদ্ধি বা উষ্ণতা-হ্রাস সমান হইবে না।

আপেক্ষিক তাপ দুইটি সমজাতীয় রাশির একটি অনুপাত মাত্র। ইহা শুধু সংখ্যা দ্বারা প্রকাশিত হয়। হরে ও লবে তাপের যে কোন্ একক ব্যবহার কর বা উষ্ণতার যে কোন স্কেল ব্যবহার কর আপেক্ষিক তাপের সংখ্যা একই হইবে। "তামার আপেক্ষিক তাপ = '০৯৮"—ইহার অর্থ '০৯৮ ক্যালরি বা '০৯৮ পাউণ্ড-ফারেনহিট একক বা '০৯৮ পাউণ্ড-সেন্টিগ্রেড একক তাপ যথাক্রমে ১ গ্রাম তামার ১°C উষ্ণতা, ১ পাউণ্ড তামার ১°F উষ্ণতা কিংবা ১ পাউণ্ড তামার ১°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করে। "জলের আপেক্ষিক তাপ পারদের আপেক্ষিক তাপ অপেক্ষা ৩০ গুণ বেশী"—ইহার অর্থ যে, কোন ভরের জলকে ১°C উষ্ণ করিতে যে তাপ দরকার সেই তাপ সম ভরের পারদকে ৩০°C উষ্ণ করিবে কিংবা ৩০গুণ ভরের পারদকে ১°C উষ্ণ করিবে।

৫২। তাপ-গ্রাহিতা (Thermal Capacity) : কোন (প্রদত্ত) পদার্থের সবটুকু ১° উষ্ণ করিতে যে তাপ দরকার তাহার পরিমাণকে **তাপ-গ্রাহিতা** বলে।

মনে কর পদার্থের আঃ তাঃ $= s$, ভর $= m$. ∴ তাপ-গ্রাহিতা $= ms$ ক্যালরি···(৩৩)

প্রতি একক ভরের তাপ-গ্রাহিতা = আঃ তাপ। প্রতি একক আয়তনে তাপ-গ্রাহিতা = ঘনাঙ্ক × আঃ তাপ।

৫৩। তুল্য-জলাঙ্ক (Water Equivalent) : কোন পদার্থের ১°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় তাপ যে পরিমাণ জলের ১°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করে, গ্রামে প্রকাশিত সেই পরিমাণ জলকে **তুল্য-জলাঙ্ক** বলে। মনে কর পদার্থের ভর $= m$, আঃ তাপ $= s$ ∴ ১°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য তাপ $= ms$ ক্যালরি আবার ms ক্যালরি তাপ ms গ্রাম জলকে ১°C উষ্ণ করে

∴ তুল্য-জলাঙ্ক $= m\,s$. গ্রাম···(৩৪)

তুল্য-জলাঙ্ক ও তাপ-গ্রাহিতা সংখ্যায় এক কিন্তু ইহাদের একক পৃথক।

তামার S = ·১ ∴ ২০০ গ্রাম তামার তুল্য-জলাঙ্ক = ২০০ × ·১ = ২০ গ্রাম

∴ তাপ-গ্রাহিতা = ২০০ × ·১ = ২০ ক্যালরি।

৫৪। ক্যালোরিমিটারের তুল্য-জলাঙ্ক নির্ণয় : ক্যালোরিমিটার ও আলোড়ককে পরিষ্কার ও শুষ্ক করিয়া ওজন কর। ক্যালোরিমিটারে অর্ধেকের বেশী জল রাখ। পুনরায় ওজন কর। দুই ওজনের পার্থক্য = জলের ওজন। জলের উষ্ণতা লও। মনে কর উহা t_1°C। অপর পাত্রে জল গরম কর। উহার উষ্ণতা লও। মনে কর উহা t_2°C। ঘরের উষ্ণতা হইতে t_1°C যত কম হবে t_2°C তত বেশী হইলে তাপ বিকিরণ (radiation) কম হবে। যদি দরকার হয় তবে ক্যালোরিমিটারের জলে সামান্য বরফ দিয়া জলকে শীতল করিতে হয়। ক্যালোরিমটারকে একটি তাপ-অপরিবাহী (non-conductor) আসনের উপর রাখিয়া একটি বড় পাত্রের মধ্যে রাখ। ক্যালোরিমিটারের বাহির পৃষ্ঠ ও বড় পাত্রের ভিতর পৃষ্ঠ খুব চকচকে হইলে তাপ বিকিরণ কম হইবে। গরম জল তাড়াতাড়ি ক্যালোরিমিটারে ঢাল।

আলোড়ক দিয়া জল নাড়। কিছুক্ষণ পর মিশ্রণের শেষ উচ্চ উষ্ণতা লও। ক্যালোরিমিটারকে ঠাণ্ডা করিয়া ওজন কর। শেষের দুই ওজনের পার্থক্য = গরম জলের ভর।

মনে কর ঠাণ্ডা জলের ভর = m গ্রাম। গরম জলের ভর = m^1 গ্রাম। মিশ্রণের (শেষ) উষ্ণতা = t°C. তুল্য-জলাঙ্ক = W গ্রাম.

t_2° হইতে t_1°C শীতল হইতে m^1 গ্রাম জল দ্বারা পরিত্যক্ত তাপ = m^1 $(t_2 - t)$ ক্যা.

t_1° হইতে t°Cতে উষ্ণ হইতে m গ্রাম জল দ্বারা গৃহীত তাপ = m $(t - t_1)$ ক্যা.

ক্যালোরিমিটার ও আলোড়ক দ্বারা গৃহীত তাপ = $W\ (t - t_1)$ ক্যা.

আমরা জানি, মোট পরিত্যক্ত তাপ = মোট গৃহীত তাপ

$$\therefore\ m^1\,(t_2 - t) = m\,(t - t_1) + W\,(t - t_1)$$

$$\therefore\ W = \frac{m^1\,(t_2 - t)}{(t - t_1)} - m \cdots\cdots (৩৫)$$

৫৫। **তাপ-গ্রাহিতা নির্ণয়ঃ** কোন পদার্থকে কোন এক উষ্ণতায় গরম করিয়া ক্যালোরিমিটারের জলে ফেলিয়া শেষ উষ্ণতা দেখিয়া নিম্নলিখিত উপায়ে পদার্থের তাপ-গ্রাহিতা নির্ণয় করিতে হয়।

মনে কর পদার্থের তাপ-গ্রাহিতা = W ক্যা., ক্যালোরিমিটারের ভর = M, ক্যালোরিমিটারের আঃ তাঃ = S, জলের ভর = m_1, পদার্থের উষ্ণতা = T°C, ক্যালোরিমিটারের প্রাথমিক উষ্ণতা = t_1°C ও শেষ উষ্ণতা = t_2°C.

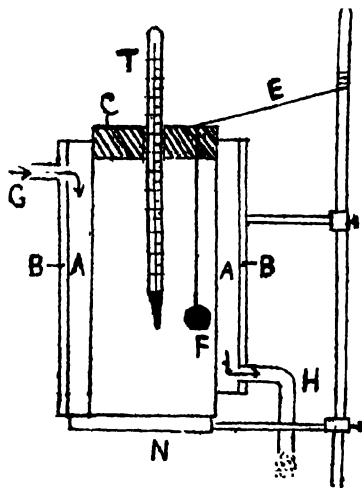
পদার্থ দ্বারা পরিত্যক্ত তাপ = $W \times (T - t_2)$ ক্যা.

ক্যালোরিমিটার ও জল দ্বারা গৃহীত তাপ = $MS\ (t_2 - t_1) + m_1$ $(t_2 - t_1)$ ক্যা.

$$W \times (T - t_2) = MS\ (t_2 - t_1) + m\ (t_2 - t_1).$$

ইহা হইতে W নির্ণয় করা যায়।

৫৬। **কঠিনের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়ঃ মিশ্রণ উপায় (Method of mixtures)ঃ (১) পরীক্ষাঃ** তামার আলোড়ক সমেত

তামার ক্যালোরিমিটারকে পরিষ্কার ও শুষ্ক করিয়া ওজন কর। ইহার ভিতর জল ঢাল। পুনরায় ওজন কর। দুই ওজনের পার্থক্য = জলের ওজন। জলের ওজন ২৫০ গ্রাম হইলে ভাল হয়। জলের উষ্ণতা লও। (২) কঠিন পদার্থকে ওজন কর। ইহাকে সুতা দিয়া ঝুলাইয়া ষ্টীম তাপনীতে (Steam heater, অর্থাৎ যে যন্ত্রে ষ্টীম প্রবেশ করাইয়া পদার্থকে গরম করা যায়) গরম কর। এই যন্ত্র দুইটি ধাতব (সাধারণতঃ তামার) সমাক্ষ (co-axial) ফাঁপা চোঙ দ্বারা গঠিত। ইহা দুইটি প্রকোষ্ঠ A ও Bতে বিভক্ত। ভিতরের A প্রকোষ্ঠে উপর মুখ একটি কর্ক C দিয়া আঁটা আছে। কর্কে দুইটি ছিদ্র আছে। একটি ছিদ্র দিয়া লম্বভাবে থার্মমিটার T ঝুলান আছে। অপর ছিদ্র দিয়া E সুতার সাহায্যে পরীক্ষাধীন কঠিন পদার্থ F ঝুলান আছে। A প্রকোষ্ঠের নীচে একটি সরণযোগ্য (movable) কাঠখণ্ড N আছে। বাহিরের প্রকোষ্ঠ একবারে বন্ধ কেবল G নল দিয়া ষ্টীম ঢোকে ও H নল দিয়া বাহির হয়।

২৩নং চিত্র

ক্যালোরিমিটার ও ষ্টীম তাপনীর মাঝখানে একটা কাঠের পর্দা থাকে। ষ্টীম ভিতরের চোঙের বায়ুকে গরম করে এবং গরম বায়ু কঠিন পদার্থকে গরম করে। ইহাতে কঠিন শুষ্কাবস্থায় উত্তপ্ত হয়। যখন থার্মমিটারে পারদ স্থির হয় তখন উষ্ণতা দেখ। পর্দা সরাইয়া ক্যালোরিমিটারকে ষ্টীম তাপনীর নীচে লইয়া আস এবং কাষ্ঠখণ্ড N সরাইয়া কঠিন পদার্থকে ক্যালোরিমিটারের মধ্যে তাড়াতাড়ি ফেলিয়া দাও। ক্যালোরিমিটারকে সরাইয়া লও। আলোড়ক দিয়া জল নাড়। জলের শেষ উষ্ণতা লও।

গণনা : মনে কর ক্যালোরিমিটারের ও আলোড়কের ভর = W গ্রাম,

ক্যালোরিমিটারের পদার্থের আঃ তাঃ $=S$, জলের ভর $=m$ গ্রাম, ক্যালোরিমিটারের ও জলের প্রাথমিক উষ্ণতা $=t_1$°C, কঠিনের ভর $=M$ গ্রাম। কঠিনের উষ্ণতা $=t$°C, শেষ উষ্ণতা $=t_2$°C, কঠিনের আঃ তাঃ $=S^1$.

কঠিনের দ্বারা পরিত্যক্ত তাপ $=MS^1(t-t_2)$ ক্যা.

ক্যালোরিমিটার, আলোড়ক ও জল দ্বারা গৃহীত তাপ

$$=WS(t_2-t_1)+m(t_2-t_1) \text{ ক্যাঃ.}$$

অন্য কোন পদার্থের সহিত তাপ বিনিময় হয় নাই ধরিলে পরিত্যক্ত তাপ $=$ গৃহীত তাপ

$$MS^1(t-t_2)=WS(t_2-t_1)+m(t_2-t_1)$$

$$\therefore\ S^1=\frac{(WS+m)(t_2-t_1)}{M(t-t_2)}\ldots\ldots(৩৬)$$

এখানে S^1 ছাড়া সবই জানা আছে। এই যন্ত্রকে Regnault যন্ত্র বলে।

ভুলের কারণ ও তাহার অপনোদন : (ক) কতক তাপ ক্যালোরিমিটার হইতে পরিবহন ও বিকিরণ দ্বারা অন্যত্র চলিয়া যাইতে পারে। ইহাতে S^1 খুব কম হইবে। তিনটি উপায়ে ইহা অপনোদন করা হয়। প্রথমতঃ ক্যালোরিমিটারকে তাপ অপরিবাহী আসনের (যেমন কাঠ) উপর বসাইতে হয় এবং ক্যালোরিমিটারকে অন্য তামার বড় পাত্রের মধ্যে রাখা হয়। বড় পাত্রটি একটি কাঠের বাক্সে রাখা হয়; কাঠের বাক্স ও দ্বিতীয় পাত্রের মধ্যে তুলা বা পশম দেওয়া হয়। কাঠের বাক্সে একটি ঢাকনা থাকে। ঢাকনার ছিদ্রের মধ্য দিয়া থার্মমিটার ও আলোড়ক ঢোকান হয়। দ্বিতীয়তঃ ক্যালোরিমিটারের বাহির পৃষ্ঠ ও পাত্রের ভিতর পৃষ্ঠ খুব মসৃণ করিতে হয়। তৃতীয়তঃ ঘরের উষ্ণতা হইতে জলের শেষ উষ্ণতা যত ডিগ্রি বেশী হইবে জলের প্রাথমিক উষ্ণতাকে জলে বরফজল মিশাইয়া ঘরের উষ্ণতা হইতে তত ডিগ্রি কম রাখিতে হয়। ইহাতে পরীক্ষার প্রথমার্ধে বিকিরণে যতটা তাপ বৃদ্ধি হয় শেষার্ধে ততটা তাপ হ্রাস হয়। ইহাকে Rumfordএর **ক্ষতিপূরণ নিয়ম** (Method of compensation) বলে। (খ) তাপনী হইতে ক্যালোরিমিটারে কঠিনকে ফেলিবার সময়

ক্যালোরিমিটারকে তাপনীর ঠিক নীচে আনিয়া তাড়াতাড়ি ফেলিতে হয়। ইহাতে তাপ-বিকিরণ কম হয়।

(গ) খুব সুবেদী থার্মমিটার দিয়া উষ্ণতা নিখুঁতভাবে মাপা দরকার। সঠিক উষ্ণতা নির্ণয়ের উপর পরীক্ষার নির্ভুল গণনা নির্ভর করে। থার্মমিটারে $\frac{1}{10}$ ডিগ্রি পর্যন্ত অংশাঙ্কন থাকা দরকার।

(ঘ) অপরিবাহী কঠিনকে ভাঙ্গিয়া লইতে হয়। (ঙ) থার্মমিটারও কিছু তাপ গ্রহণ করে।

৫৭। তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়: মিশ্রণ উপায়: (ক) উপরোক্ত (Regnualt) প্রক্রিয়ায় ক্যালোরিমিটারে জলের পরিবর্তে প্রদত্ত তরল লও। যে কঠিনের আঃ তাপ জানা আছে এবং যে কঠিন প্রদত্ত তরলে গলে না বা যাহার তরলের সহিত কোন রাসায়নিক ক্রিয়া হয় না এইরূপ কঠিন পদার্থ তাপনীতে উষ্ণ করিয়া ক্যালোরিমিটারে ফেল। (এখানে ৫৬ অনুচ্ছেদের Regnualt প্রক্রিয়ায় যাহা করা হইয়াছে তাহা সমস্তই বর্ণনা করিতে হইবে)।

মনে কর ক্যালোরিমিটার ও আলোড়কের ভর $= W$ গ্রাম, ক্যালোরিমিটারের পদার্থের আঃ তাঃ $= S_1$, তরলের ভর $= m$ গ্রাম, কঠিনের ভর $= M$ গ্রাম, কঠিনের আঃ তাঃ $= S_2$, কঠিনের উষ্ণতা $= t°C$, শেষ উষ্ণতা $= t_2°C$, তরলের আঃ তাপ $= S$.

কঠিনের দ্বারা পরিত্যক্ত তাপ = ক্যালোরিমিটার, আলোড়ক ও প্রদত্ত তরলের দ্বারা গৃহীত তাপ

$$\therefore \quad MS_2(t-t_2) = WS_1(t_2-t_1) + mS(t_2-t_1)$$

$$S = \frac{MS_2(t-t_2) - WS_1(t_2-t_1)}{m(t_2-t_1)} \quad \ldots (৩৭)$$

যদি প্রদত্ত তরলের জলের সহিত কোন রাসায়নিক ক্রিয়ার সম্ভাবনা না থাকে তবে জানা ভরের জলে জানা উষ্ণতার তরল মিশাইয়া তরলের আঃ তাঃ বাহির করা যায়। কোন উদ্বায়ী তরল যেমন কোহলকে একটি কাচ পাত্রের ভিতর রাখিয়া পাত্রসুদ্ধ গরম করিয়া জলে ফেলিতে হয়। কাচ পাত্রের মুখ কর্ক দিয়া আটা থাকে। ভুলের কারণ ও অপনোদন পূর্বের মত। তরলের শীতলী করণের নিয়মানুসারে আঃ তাপ বাহির করা যায়।

৫৮। উচ্চ উষ্ণতার মাপ (Measurement of High Temperature) : যে কঠিনের (তাপের সুপরিবাহী কঠিনের যেমন ধাতুর) ভর ও আঃ তাপ জানা আছে সেই কঠিনকে উচ্চ উষ্ণতাযুক্ত পদার্থের সংস্পর্শে রাখ যতক্ষণ না কঠিন সেই উষ্ণতায় আসে। খুব তাড়াতাড়ি কঠিনকে ক্যালোরিমিটারের জলে ফেল যাহাতে তাপ-বিকিরণ নগণ্য হয়। শেষ উষ্ণতা দেখ।

মনে কর ক্যালোরিমিটারের তুল্য-জলাঙ্ক = W গ্রাম, জলের ভর = m গ্রাম, কঠিনের ভর = M গ্রাম, কঠিনের আঃ তাঃ = S, জলের প্রথম ও শেষ উষ্ণতা = t_1°C, t_2°C, অজ্ঞাত উষ্ণতা = t°C $\therefore$ $MS\ (t-t_2)=(W+m)(t_2-t_1)$……(৩৮)

এখানে t ছাড়া সবই জানা আছে।

এইরূপে অগ্নিশিখা, চুল্লীর (Furnace) উষ্ণতা জানা যায় ;

৫৯। জলের উচ্চ আপেক্ষিক তাপ :—সকল কঠিন ও তরলের মধ্যে জলের আপেক্ষিক তাপ সকলের চেয়ে বেশী। অর্থাৎ নির্দিষ্ট ভরের জল ১° ডিগ্রি উষ্ণ হইতে যে তাপ গ্রহণ করে বা ১° শীতল হইতে যে তাপ ত্যাগ করে তার চেয়ে সেই ভরের অন্য যে কোন পদার্থ কম তাপ গ্রহণ বা ত্যাগ করে। ইহাতে নিম্নলিখিত ফল পাওয়া যায় : (ক) এই কারণে শীত প্রধান দেশে নলে করিয়া ঘরে গরম জল লইয়া ঘর গরম রাখা হয়। (খ) গরম জলের বোতলে জল অনেকক্ষণ গরম থাকে। (গ) জল অপেক্ষা স্থল শীঘ্র শীঘ্র উত্তপ্ত বা শীতল হয়। সেই কারণে দুপুরে বা গ্রীষ্মকালে জলভাগ অপেক্ষা স্থলভাগ বেশী উষ্ণ হয় ; রাত্রে বা শীতকালে স্থলভাগ জলভাগ অপেক্ষা বেশী শীতল হয়। অর্থাৎ বৎসরে বা দিনে স্থলভাগ অপেক্ষা জলভাগ বেশী নাতিশীতোষ্ণ হয় ; দ্বীপের চারিদিকে বা সমুদ্র তীরে জলভাগ থাকায় দ্বীপগুলি ও সমুদ্রতীরস্থ স্থান জলভাগের সান্নিধ্যের জন্য চরম শৈত্য অনুভব করে না। সেইজন্য সমুদ্র জলবায়ুকে নাতিশীতোষ্ণ করে। (ঘ) দুইটি কারণে ক্যালোরিমিটারে জল ব্যবহারে গণনা নির্ভুল হয় না : প্রথমত জলের উচ্চ আপেক্ষিক তাপের জন্য অল্প তাপের পরিমাণ মাপা যায় না। দ্বিতীয়তঃ জলের উষ্ণতার পরিবর্তনের সঙ্গে আপেক্ষিক তাপের পরিবর্তন হয়।

(ঙ) জল ও স্থলের আপেক্ষিক তাপের পার্থক্যের জন্য জলবায়ুর ও স্থলবায়ুর উদ্ভব হয়।

৬০। **তাপন-মূল্য (Calorific value):** এক পাউণ্ড জ্বালানী কাঠ বা কয়লা সম্পূর্ণ পোড়াইলে যে তাপের উদ্ভব হয় তাহাকে কাঠ বা কয়লায় **তাপন মূল্য** বলে। শক্ত বায়ুনিরুদ্ধ অক্সিজেনপূর্ণ ষ্টীল পাত্রে (bomb) পূর্ব হইতে ওজন-করা শুষ্ক গুড়া কয়লা লইয়া বৈদ্যুতিক প্রবাহ দ্বারা পোড়ান হয়। পাত্রকে একটি ক্যালোরিমিটারের জলে রাখা হয়। কয়লা-পোড়ান তাপ জলকে উত্তপ্ত করে। পূর্বোক্ত নিয়মে এই তাপ মাপা যায়।

৬১। **লীন তাপ (Latent Heai):** কোন কঠিনে ক্রমাগত তাপ-প্রয়োগ করিলে উহার উষ্ণতা বাড়িতে থাকে। এক নির্দিষ্ট উষ্ণতায় (গলনাঙ্কে) উহা গলিতে আরম্ভ করে এবং যতক্ষণ না সমস্ত কঠিনের গলা শেষ হয় অর্থাৎ যতক্ষণ সমস্ত কঠিন তরল অবস্থায় পরিণত না হয় ততক্ষণ কঠিনে তাপ সরবরাহ করা সত্ত্বেও থার্মমিটারে উষ্ণতা নির্দিষ্ট থাকে। গলা আরম্ভ হইতে শেষ পর্যন্ত প্রযুক্ত তাপশক্তি কঠিনের অনুগুলির আকর্ষণের বিরুদ্ধে কাজ করিয়া তরলে পরিণত করে কিন্তু ইহা এই সময়ে কঠিনের বা তরলের উষ্ণতা-বৃদ্ধির কাজে লাগে না। এইরূপ তরলের ক্রমাগত উষ্ণতা-হ্রাস করিলে তরল অবশেষে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় (হিমাঙ্কে) কঠিন হইতে আরম্ভ করে এবং যতক্ষণ সমস্ত তরল কঠিন অবস্থায় পরিণত না হয় ততক্ষণ তাপ কমান সত্ত্বেও উষ্ণতা এক থাকে। এইরূপ তরলে ক্রমাগত তাপ প্রয়োগ করিলে উষ্ণতা বাড়িতে থাকে এবং এক নির্দিষ্ট উষ্ণতায় (স্ফুটনাঙ্কে) ও চাপে উহার সবটা বাষ্পে পরিণত হয়। আবার বাষ্পকে ক্রমাগত শীতল করিলে উহার উষ্ণতা কমিতে থাকে এবং একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় সব বাষ্প তরল হয়। আমরা জানি অণুগুলির পরস্পর আকর্ষণ বলের উপর পদার্থের অবস্থান্তর নির্ভর করে। পদার্থের অবস্থান্তরের সময় পদার্থ যে পরিমাণ তাপ শক্তি গ্রহণ করে বা ত্যাগ করে তাহার সবটুকুই অণুগুলির আকর্ষণ বল বাড়াইতে ব্যয় হয় বা আকর্ষণ বল হইতে উদ্ভূত হয়। এই তাপ বাহ্যতঃ উষ্ণতারূপে প্রকাশিত হয় না। ইহা থার্মমিটারে ধরা যায় না। সেইজন্য এই তাপকে **প্রচ্ছন্ন বা লীন তাপ** বলে। যে তাপ

উষ্ণতা বৃদ্ধি করে তাহাকে থার্মমিটারে ধরা যায়। ইহাকে sensitive তাপ বলে। প্রথমোক্ত তাপ অবস্থান্তর সংঘটনে ব্যয়িত হয়। অতএব আমরা দেখিতেছি যে কেবল উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে তাপের দরকার হয় না, অবস্থান্তরে তাপের দরকার হয়। এক অবস্থান্তরে যে তাপ গৃহীত হয় বিপরীত অবস্থান্তরে ঠিক সেই পরিমাণ তাপ উদ্ভূত হয়। এই গৃহীত বা উদ্ভূত তাপ পদার্থের প্রকৃতির ও পদার্থের ভরের উপর নির্ভর করে।

এক একক ভরের কঠিনকে গলনাঙ্কে উষ্ণতার হ্রাস-বৃদ্ধি না করিয়া তরল করিতে যে তাপের দরকার হয় তাহাকে কঠিনের **গলনের লীনতাপ** (Latent) **Heat of Fusion)** বলে। এক একক ভরের তরল একই উষ্ণতায় (হিমাঙ্কে) থাকিয়া কঠিন হইলে একই পরিমাণ তাপ ত্যাগ করে। এই তাপকে তরলের ঘনীভবনের **লীন তাপ** (Latent Heat of Solidification) বলে। "বরফ গলনের লীন তাপ ৮০" এই কথার তাৎপর্য এই যে ১°C উষ্ণতায় এক গ্রাম বরফকে ১°C উষ্ণতায় এক গ্রাম জলে পরিণত করিতে ৮০ ক্যালরি তাপ দরকার।

আবার ১°C উষ্ণতায় এক গ্রাম জল ১°C উষ্ণতায় এক গ্রাম বরফে পরিণত হইলে ৮০ ক্যালরি তাপ উদ্ভূত হয়। ৫০ গ্রাম ৮০°C উষ্ণতার জলের সঙ্গে ৫০ গ্রাম O°C উষ্ণতার বরফ মিশাইলে মিশ্রণের উষ্ণতা হয় O°C ; কেন? উষ্ণ জল ৫০ × ৮০ ক্যালরি তাপ ত্যাগ করে। এই তাপ ৫০ গ্রাম বরফকে ৫০ গ্রাম জলে পরিণত করিতে ব্যয় হয়। সুতরাং মিশ্রণের উষ্ণতা = O°C.

এক একক ভরের তরলকে স্ফুটনাঙ্কে উষ্ণতার পরিবর্তন না করিয়া বাষ্পে পরিণত করিতে যে তাপ দরকার হয় তাহাকে তরলের **বাষ্পীভবনের লীন তাপ** **(Latent Heat of Vaporisation)** বলে। এক একক ভরের বাষ্প একই উষ্ণতায় (স্ফুটনাঙ্কে) তরলে পরিণত হইলে এই পরিমাণ তাপ ত্যাগ করে। "ষ্টীমের লীন তাপ ৫৩৬ ক্যালরি"—ইহার অর্থ যে ১০০°C উষ্ণতায় এক গ্রাম জলকে ১০০°C উষ্ণতায় ষ্টীমে পরিণত করিতে ৫৩৬ ক্যালরি তাপ লাগে। আবার ১০০°C উষ্ণতায় ১ গ্রাম ষ্টীম ১০০°C উষ্ণতায় জলে পরিণত হইলে ৫৩৬ ক্যালরি তাপ উদ্ভূত হয়।

লীন তাপ ভরের একক ও তাপের এককের উপর নির্ভর করে। তাপের একক আবার উষ্ণতার স্কেলের উপর নির্ভর করে।

তাপের একককে ১ পাউণ্ড বা ১ গ্রাম ভরের একক ধরিলে ও ১°C উষ্ণতার একক ধরিলে এবং ভরের একক ১ পাউণ্ড বা ১ গ্রাম ধরিলে বরফের লীন তাপ = ৮০ এবং ষ্টীমের লীন তাপ = ৫৩৬ কিন্তু ১°F উষ্ণতার একক ধরিলে (যেহেতু ১°C = ৯/৫°F) বরফের লীন তাপ = ৮০ × ৯/৫ = ১৪৪, ষ্টীমের লীন তাপ = ৫২৬ × ৯/৫ = ৯৬৪'৮.

৬২। **জলের উচ্চ লীন তাপ :** জলের যেমন আঃ তাপ বেশী, জলের ও ষ্টীমের লীন তাপও বেশী। ইহাতে দুইটি ফল পাওয়া যায় :—(ক) বরফ গলিতে বা জলের জমাট বাঁধিতে অনেক সময় লাগে। সেইজন্য শীতকালে পুকুরের বা হ্রদের জল জমিতে সময় লাগে। জলচর প্রাণী বাঁচিয়া যায়। হিমশৈল গলিতে দেরী হয়, ইহাতে প্রবল বন্যা নিবারিত হয় (খ) জল বা ষ্টীম হইতে প্রভূত তাপ পাওয়া যায়। ১ ঘন ফুট জলের ভর = ৬২'৫ পাউণ্ড সুতরাং ১ ঘন ফুট জল বরফ হইলে ৮০ × ৬২'৫ = ৫০০০ একক তাপ উদ্ভূত হয়। যখন বরফ গলে তখন ইহা লীন তাপ গ্রহণ করে। যখন ষ্টীম বাষ্প হয় তখন ইহা প্রভূত তাপ ত্যাগ করে। সেইজন্য আইসক্রীম বা বরফ-জল অপেক্ষা বরফ বেশী ঠাণ্ডা বোধহয় যদিও উভয়ে একই উষ্ণতায় থাকে। একই উষ্ণতায় ষ্টীম ও ফুটন্ত জল হাতে লাগিলে শুষ্ক ষ্টীমে বেশী ঘা হয়। কারণ ষ্টীম জল হইবার সময় প্রভূত তাপ ত্যাগ করে, ফুটন্ত জল তাহা করে না।

৬৩। **বরফ গলনের লীন তাপ** (Latent Heat of Fusion of Ice) **নির্ণয় :** পরিষ্কার ও শুষ্ক ক্যালোরিমিটারকে ও আলোড়ককে ওজন কর (W গ্রাম)। আলোড়কে একটি জাল দেওয়া থাকে। ক্যালোরিমিটারের দুই-তৃতীয়াংশ জলে পূর্ণ কর। পুনরায় ইহাকে ওজন কর। দুই ওজনের পার্থক্য = জলের ওজন (m গ্রাম)। সুবেদী-থার্মমিটার দিয়া জলের উষ্ণতা লও (t_1°C). t_1°C ঘরের উষ্ণতার উপরে ৫° হওয়া উচিৎ। ক্যালোরিমিটারকে অপর পাত্রের মধ্যে তাপ-কুপরিবাহী আসনে বসাও। পরিস্রুত জলদ্বারা ধৌত কয়েকখণ্ড বরফ ব্লটিং কাগজে শুষ্ক করিয়া হাত দিয়া না ধরিয়া ব্লটিং

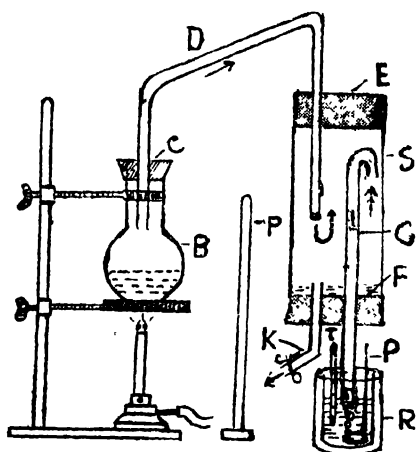
কাগজে ধরিয়া জলে সাবধানে ফেল। আলোড়কের জাল দিয়া বরফকে জলের নীচে নাড়িতে থাক। সমস্ত বরফ গলিলে নিম্নতম উষ্ণতা লও (t_2°C)। t_2°C ঘরের উষ্ণতা হইতে ৫° নিম্নে হইবে। থার্মমিটার সরাইয়া ক্যালোরিমিটার ওজন কর। শেষ দুই ওজনের পার্থক্য = বরফের ওজন (M গ্রাম)। মনে কর S = ক্যালোরিমিটারের পদার্থের আঃ তাপ এবং L = বরফের লীন তাপ। t_1°C হইতে t_2°Cতে শীতল হইতে ক্যালোরিমিটার, আলোড়ক ও জল দ্বারা পরিত্যক্ত তাপ = বরফের লীন তাপ + হিমশীতল জলকে O° হইতে t_2°C পর্যন্ত উষ্ণ করিবার প্রয়োজনীয় তাপ

$$\therefore \quad (WS+m)(t_1-t_2)=ML+Mt_2$$

$$\therefore \quad L=\frac{(WS+m)(t_1-t_2)}{M}-t_2 \cdots\cdots (৩৯)$$

সতর্কতা : (ক) বরফের সঙ্গে একটুও বরফগলা জল থাকিলে বরফের ভর কমিয়া যাইবে এবং ১ গ্রাম বরফের ওজনের কমতির জন্য লীনতাপ ৮ ক্যালরি কমিবে। সেইজন্য বরফ ফেলিবার সময় ব্লটিং কাগজে ধরিয়া ফেলিতে হয়, যাহাতে বরফগলা জল ব্লটিং কাগজে শুষিয়া লয়। (খ) বরফকে সব সময়েই জাল দিয়া জলের নীচে রাখা দরকার যাহাতে বাতাসের তাপ দ্বারা বরফ না গলে। (গ) প্রাথমিক উষ্ণতা ঘরের উষ্ণতা হইতে প্রায় ৫° বেশী হইলে শেষ উষ্ণতা প্রায় ৫°C কম হইবে। ইহাতে বিকিরণের দ্বারা তাপের লাভ-লোকসান সমান হয়। ইহাকে ক্ষয়পূরণ নীতি (Method of compensation) বলে। ইহাতে বিকিরণ দ্বারা Lএর মান কম হইবে। (ঘ) বরফ কম লইবে নচেৎ ক্যালোরিমিটার বেশী শীতল হইলে বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প জমিতে পারে। ইহাতে ক্যালোরিমিটারের উষ্ণতা কম হইবে এবং Lএর মান কম হইবে।

৬৪। **ষ্টীমের লীন তাপ** (Latent Heat of Steam বা Vaporisation of water) **নির্ণয়** : পরিষ্কার ও শুষ্ক ক্যালরিমিটার R ও আলোড়ক P একত্রে ওজন কর। মনে কর ওজন = W গ্রাম। ক্যালোরিমিটারের প্রায় ⅔ ভাগ জলে পূর্ণ কর। পুনরায় ইহাকে ওজন কর। দুই ওজনের পার্থক্য = জলের ওজন = m গ্রাম। সুবেদী থার্মমিটার T দিয়া জলের উষ্ণতা লও।

এই উষ্ণতা ঘরের উষ্ণতার প্রায় ৫°C কম হওয়া উচিৎ। জলের উষ্ণতা = t°C. B পাত্রের মুখ C কর্ক দিয়া বন্ধ করা থাকে। কর্কের ভিতর দিয়া দুই দিকে বাঁকান D নল অতিক্রম করিয়াছে। D নলের এক মুখ B পাত্রের ফুটন্ত জলের তলের উপর আছে এবং অপর মুখ একটি মোটা কাচ নল Sএর উপর মুখে স্থাপিত ষ্টীমনিরুদ্ধ E কর্কের মধ্য দিয়া মোটা নলের ভিতরে নিম্নমুখের কাছাকাছি গিয়াছে। S নলের নিম্নমুখে একটি ষ্টীমনিরুদ্ধ কর্ক F আছে। Fএর মধ্য দিয়া অপর একটি G কাচ নল আছে। ইহার এক প্রান্ত ক্যালোরি-মিটারের মধ্যে গিয়াছে। অপর প্রান্ত S নলের উপর মুখের কাছাকাছি গিয়াছে। এই মোটা S নলকে **ষ্টীম-ফাঁদ** (Steam trap) বলে। B পাত্রের জল ফুটাও। ষ্টীম B পাত্র হইতে D নল দিয়া S নলে ঢোকে। কোন ষ্টীম জমিয়া জল হইলে তাহা S নলের তলদেশে জমে। এই জলকে মধ্যে মধ্যে K নল দিয়া বাহির করা হয় এবং শুষ্ক ষ্টীম G নল দিয়া ক্যালোরিমিটারে ঢোকে। S নল বন্ধনী দিয়া আটকান থাকে।

২৪নং চিত্র

ক্যালোরিমিটারকে অপর বড় পাত্রের মধ্যে কাষ্ঠাসনে বসাও। ষ্টীম-ফাঁদের নীচে বড় পাত্র আনিয়া G নলের মুখ তাড়াতাড়ি ক্যালোমিটারের জলের মধ্যে ঢোকাও এবং ধীরে ধীরে ষ্টীম প্রবেশ করাও। জলকে নাড়িতে থাক। ক্যালোরিমিটার ও B পাত্রের মধ্যে একটি পর্দা P রাখ। কিছুক্ষণ পরে G নলের মুখ সরাইয়া লও। জলের উচ্চতম উষ্ণতা লও। মনে কর ইহা t_1°C। ক্যালোরিমিটার শীতল করিয়া জলসুদ্ধ ওজন কর। মনে কর শেষ দুই ওজনের পার্থক্য = ষ্টীমের ওজন = M গ্রাম, ষ্টীমের উষ্ণতা = ১০০°C, ক্যালোরিমিটারের পদার্থের আঃ তাঃ = S, লীনতাপ = L;

গণনা : M গ্রাম ১০০°C উষ্ণতার ষ্টীম M গ্রাম ১০০°C উষ্ণতার জলে পরিণত হইতে পরিত্যক্ত লীন তাপ+M গ্রাম জল ১০০°C উষ্ণতা হইতে t_1C উষ্ণতায় নামিতে পরিত্যক্ত তাপ=$t°$ হইতে t_1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য ক্যালোরিমিটার, আলোড়ক ও জল দ্বারা গৃহীত তাপ

$$\therefore \quad ML+M(100-t_1)=(WS+m)(t_1-t)$$

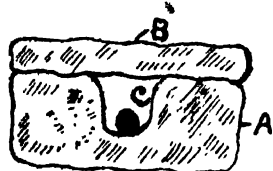
$$\therefore \quad L=\frac{WS+m}{M}(t_1-t)-(100-t_1)\cdots\cdots(৪০)$$

সতর্কতা (ক) ষ্টীমের সঙ্গে জল থাকিলে L কম হইবে সেইজন্য অবরোধক ষ্টীম-ফাঁদ ব্যবহারের সঙ্গে G নলকে পশম দিয়া ঢাকা দরকার যাহাতে ষ্টীম জমিয়া জল না হয়। (খ) ক্যালোরিমিটার হইতে তাপ বিকীর্ণ হইলে L কম হইবে সেইজন্য জলের প্রাথমিক উষ্ণতা ঘরের উষ্ণতা অপেক্ষা কম রাখা হয় এবং জলে এমন পরিমাণ ষ্টীম দেওয়া হয় যাহাতে ঘরের উষ্ণতা অপেক্ষা প্রাথমিক উষ্ণতা যতটা কম থাকে জলের শেষ উষ্ণতা ততটা বেশী হয়। (গ) ষ্টীমের উষ্ণতা বায়ু চাপের পরিবর্তনের সঙ্গে বদলায় কাজেই উহা ১০০°C নাও হইতে পারে। প্রত্যেক ক্ষেত্রে ষ্টীমের উষ্ণতা জানা দরকার। (ঘ) ষ্টীম ধীরে ধীরে প্রবেশ করান দরকার যাহাতে জল ছিট্‌কাইয়া না পড়ে। (ঙ) দীপ ও ক্যালোরিমিটারের মধ্যে পর্দা রাখা দরকার যাহাতে ক্যালোরিমিটার দীপ হইতে বিকিরণে কোন তাপ না পায়। (চ) জলের শেষ উষ্ণতা ৩০°Cএর বেশী হওয়া উচিৎ নয়।

৬৫। **বরফ ক্যালোরিমিটার** (Ice Calorimeter) : (ক) **ব্ল্যাকের বরফ ক্যালোরিমিটার : নীতি**—নির্দিষ্ট ভরের বরফ গলিবার সময় নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ গ্রহণ করে। সেইজন্য বরফের মধ্যে উষ্ণ কঠিন দ্রব্য ফেলিয়া বরফগলা জলকে ওজন করিলে দ্রব্যের আপেক্ষিক তাপ পাওয়া যায়।

পরীক্ষা :—সুবিধাজনক আকারে কোন কঠিন দ্রব্য C ওজন কর। মনে কর ইহা M গ্রাম। ইহাকে ষ্টীম তাপনীর (Steam-heater) মধ্যে রাখিয়া নির্দিষ্ট উষ্ণতায় গরম কর (t°C). একটি বৃহৎ আয়তাকার A বরফ খণ্ডের মধ্যে একটি এক ইঞ্চি গভীর গর্ত করিয়া গর্তকে ব্লটিং কাগজের দ্বারা শুষ্ক

কর। C কঠিনকে গর্তে রাখ। অপর একটি বরফ খণ্ড B দিয়া তাড়াতাড়ি গর্তের মুখ ঢাক। কঠিন পদার্থের উষ্ণতা শীঘ্রই O°Cতে নামে। ইহার পরিত্যক্ত সমস্ত তাপ কিয়ৎ পরিমাণ বরফকে গলাইতে ব্যয় হয়। কিছুক্ষণ পরে গর্তের মধ্যের বরফ-গলা জল পিপেট সাহায্যে সংগ্রহ করিয়া ওজন কর। মনে কর ইহা m গ্রাম। মনে কর বরফের লীন তাপ = L, কঠিনের আঃ তাপ = s,

২৫নং চিত্র

উষ্ণতা t°C হইতে O°Cতে নামিতে কঠিনের দ্বারা পরিত্যক্ত তাপ = m গ্রাম বরফ গলাইবার জন্য লীন তাপ.

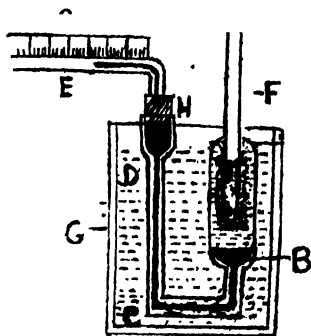
$$\therefore \quad Mst = mL \qquad \therefore \quad s = \frac{mL}{Mt}.$$

নিম্নলিখিত কারণে এই উপায় সঠিক নহে: (ক) বরফ-গলা জলের সবটা সংগ্রহ করা যায় না। (খ) কঠিনকে গর্তে ফেলিবার সময় বায়ু হইতে খানিকটা তাপ গর্তে ঢুকিয়া বরফকে গলায়। এই উপায়ের **সুবিধা:** (ক) ইহাতে খুব তাড়াতাড়ি s বাহির করা যায়। (খ) তাপ বিকিরণ দ্বারা কোন তাপ নষ্ট হয় না। (গ) কোন সুবেদী থার্মমিটারের দরকার হয় না।

(খ) **বুনসেন বরফ ক্যালোরিমিটার** (Bunsen's Ice Calorimeter): **নীতি:** নির্দিষ্ট ভরের বরফ গলিলে বরফের নির্দিষ্ট পরিমাণ আয়তন হ্রাস হয়। সুতরাং বরফের আয়তন-পরিবর্তন সঠিক ভাবে মাপিলে গলিত বরফের ওজন পাওয়া যায়। এই ওজন হইতে বরফের লীন তাপ পাওয়া যায়।

যন্ত্রের বিবরণ: ABCD একটি U-আকারের নল। ইহা দুই বার সমকোণে বাঁকিয়াছে। AB বাহু মোটা, CD বাহু সরু। D মুখটা একটু চওড়া। ইহা কর্ক দিয়া বন্ধ। কর্কের ভিতর দিয়া সমব্যাস যুক্ত বাঁকান কৌশিক নল E গিয়াছে। E নলের অনুভূমিক অংশের গায়ে সূক্ষ্মভাবে দাগ কাটা একটি স্কেল S আছে। মোটা নল B এর উপর দিকে F সরু পরীক্ষা নল জোড়া আছে। B নলের উপর অংশে বিশুদ্ধ পরিস্রুত বায়ুশূন্য জল আছে। পূর্ব

হইতে জলকে ফোটাইয়া বায়ুশূন্য করা হয়। B নলের নিম্ন অংশ, CD নল ও E নলের খানিকটা বিশুদ্ধ পারদ পূর্ণ থাকে।

পরীক্ষা : F নলের খোলা মুখ ও E নল ছাড়া সমস্ত যন্ত্রটিকে অপর একটি বৃহৎ G পাত্রের মধ্যে বিশুদ্ধ বরফ মিশ্রিত জলে ডুবাইয়া রাখ। ইথার বা কোহলকে একটি পাত্রে রাখিয়া ঐ পাত্রকে লবণ ও বরফের মিশ্রণে ডুবাইয়া শীতল কর। এই শীতল ইথার F নলে ঢালিয়া ইহার মধ্য দিয়া দ্রুত বায়ু প্রবাহ চালাইলে তরল ইথার বাষ্প হইয়া উপিয়া যাইবে। দ্রুত বাষ্পীভবনের জন্য তাপ দরকার। এই তাপ F নলের বাহিরে B নলের O°C উষ্ণতার জল হইতে সরবরাহ হইবে। ফলে এই জল লীন তাপ হারাইয়া বরফে পরিণত হইবে। F নলের বাহিরের গায়ে এক স্তর বরফ জমিবে। বরফের আয়তন জলের আয়তনের চেয়ে বেশী হওয়ায় E নলের পারদ সম্মুখ দিকে সরিয়া যাইবে। সব ইথার উপিয়া যাইলে F নলটি O°C উষ্ণতার জল দিয়া পূর্ণ কর।

২৬নং চিত্র

সমস্ত যন্ত্রটি বরফে ডুবাইয়া রাখ। কিছুক্ষণ বাদে সমস্ত যন্ত্রটি O°Cতে আসে। এখন স্কেলে পারদের অবস্থান দেখ। এই হইল যন্ত্রের প্রাথমিক ব্যবস্থা।

যে কঠিনের আঃ তাপ S জানিতে হইবে তাহার এক টুকরা ওজন করিয়া ও ষ্টীম তাপনীতে গরম করিয়া উষ্ণতা স্থির জানিয়া F নলে তাড়াতাড়ি ফেলিয়াই কর্ক দিয়া F নলের মুখ বন্ধ কর। কঠিন তাপ হারাইবে। সেই তাপ জলের মধ্য দিয়া পরিবাহিত হইয়া বাহিরের বরফকে গলাইবে যতক্ষণ না কঠিনের উষ্ণতা O°Cতে নামে। বরফ গলিলে আয়তন কমিবে এবং পারদ শীর্ষ E নলের ভিতরে ডান দিকে সরিবে। E নলের পারদ স্থির হইলে স্কেলে ইহার অবস্থান দেখ। E নলের প্রস্থচ্ছেদ পূর্ব হইতে জানা থাকিলে আয়তন-হ্রাস গণনা

করা যায় এবং তাহা হইতে কতটা বরফ গলিয়াছে তাহা জানা যায়। এই সংখ্যা হইতে কতটা তাপ সরবরাহ হইয়াছে তাহাও জানা যায়।

গণনা ঃ—মনে কর কঠিনের ভর, আঃ তাপ ও প্রাথমিক উষ্ণতা যথাক্রমে M গ্রাম, s ও t°C.

$\therefore$ কঠিন দ্বারা পরিত্যক্ত তাপ $= Mst$.

এই তাপই বরফ গলাইতে খরচ হয়।

মনে কর E নলের প্রস্থচ্ছেদ $= \alpha$ বঃ সেঃ মিঃ, পারদের অপসরণ $= l$ সেঃ মিঃ. হয়।

$\therefore$ আয়তন হ্রাস $= l\alpha$ ঘঃ সেঃ মিঃ

আমরা জানি, এক গ্রাম বরফ গলিলে ইহার আয়তন ·০৯১ ঘঃ সেঃ মিঃ কমে।

$\therefore$ এক্ষেত্রে গলিত বরফের ভর $= \frac{l\alpha}{\cdot০৯১}$ গ্রাম

$\therefore$ এই বরফ গলিবার প্রয়োজনীয় তাপ $= L \times \frac{l\alpha}{\cdot০৯১}$ ক্যাঃ

(L = বরফের লীন তাপ)

$$\therefore \quad Mst = L \frac{l\alpha}{\cdot০৯১} \quad \cdots(৪১)$$

এখানে L জানা থাকিলে s বাহির করিতে পার কিংবা s জানা থাকিলে L বাহির করিতে পার। α ও l ভালরূপ মাপা দরকার।

সুবিধা ঃ (ক) এই উপায় খুব সুবেদী ও নির্ভুল। (খ) খুব কম মাত্রা কঠিন দ্রব্য পাওয়া গেলেও s বাহির করা যায়। (গ) বিকিরণ দ্বারা তাপ নষ্ট হয় না। (ঘ) থার্মমিটারের দরকার হয় না।

৬৬। **গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ ঃ** নির্দিষ্ট আয়তনে এক গ্রাম গ্যাসের ১°C উষ্ণতা বাড়াইতে প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণকে **নির্দিষ্ট আয়তনে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ** (C_v) বলে। নির্দিষ্ট চাপে এক গ্রাম গ্যাসের ১°C উষ্ণতা বাড়াইতে প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণকে **নির্দিষ্ট চাপে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ** (C_p) বলে।

৬৭। C_v **হইতে** C_p **বেশী :** নির্দিষ্ট চাপে কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসকে ১°C উষ্ণ করিলে দুইটি বিষয়ের জন্য তাপ দরকার হয় :—(ক) গ্যাসের ১°C উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য, (খ) নির্দিষ্ট চাপে তাপ প্রয়োগে গ্যাসের আয়তন বাড়িয়া যায় কাজেই গ্যাসকে বাহিরের চাপের বিরুদ্ধে কাজ করিতে হয়। এই কাজ করিবার জন্য অতিরিক্ত তাপ শক্তি দরকার হয়। কিন্তু নির্দিষ্ট আয়তনে তাপ কেবল উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য দরকার হয় সেইজন্য C_v হইতে C_p বেশী হয়।

অঙ্ক : 1. How many units of heat are required to melt 100 gms of tin originally at 20°C. Melting point of tin 232°C. Latent heat of tin = 14 calories ; Sp. heat of tin = ·055. (C. U. 1934).

১০০ গ্রাম টিনকে ২০°C হইতে ২৩২°C পর্যন্ত উত্তপ্ত করিতে প্রয়োজনীয়

তাপ $= ms(t_1 - t_2)$ = ১০০ × ·০৫৫ × (২৩২ − ২০) = ৫·৫ × ২১২ ক্যা :

∴ ১০০ গ্রাম টিনকে গলাইবার জন্য প্রয়োজনীয় তাপ = ML =

১০০ × ১৪ = ১৪০০ ক্যা :

মোট তাপ = ৫·৫ × ২১২ + ১৪০০ = ২৫৬৬ ক্যা :

2. A piece of iron weighing 16 gms is dropped at a temp. of 112 5°C into a cavity in a block of ice of which it melts 2.5 gms. If the latent heat of ice is 80 calories per gram find the sp. heat of iron (C. U. 1947).

লোহা দ্বারা পরিত্যক্ত তাপ = গলিবার জন্য বরফ দ্বারা গৃহীত তাপ

∴ লোহার ভর × আপেক্ষিক তাপ × উষ্ণতা-হ্রাস = বরফের ভর × লীন তাপ

১৬ × S × ১১২·৫ = ২·৫ × ৮০

∴ S = $\frac{২·৫ × ৮০}{১৬ × ১১২·৫}$ = ·১১.

3. 10 gms of common salt at 91°C having been inmersed in 125 gms of oil terpentine (sp. ht = ·428) at 13°C the temperature of the mixture is 16°C. Find the specific heat of common salt.

(C. U. 1938)

যদি S = লবণের আপেক্ষিক তাপ হয় তবে লবণ দ্বারা পরিত্যক্ত তাপ = S × ১০ × (৯১ − ১৬) ক্যাঃ। তারপিণ তৈল দ্বারা গৃহীত তাপ = '৪২৮ × ১২৫ × (১৬ − ১৩)

$$\therefore\ ১০ \times ৭৫ \times S = ১২৫ \times ৩ \times '৪২৮$$

$$\therefore\ S = '২১৪.$$

4. 10 gms of ice at −10°C are mixed with 120 gms of water at 80°C. Find the final temperature of the mixture. Given sp. heat of ice = ·5 ; latent heat = 80. (C. U. 1940)

মনে কর শেষ উষ্ণতা = t°c. বরফ দ্বারা গৃহীত তাপ = −১০°C হইতে O°C পর্যন্ত উষ্ণ হইতে বরফের প্রয়োজনীয় তাপ + বরফের গলনের জন্য লীন তাপ + বরফ গলা জলকে O° হইতে t°তে উষ্ণ হইতে প্রয়োজনীয় তাপ = ১০ × '৫ × ১০ + ১০ × ৮০ + ১০ × t = ৮৫০ + ১০t.

জল দ্বারা পরিত্যক্ত তাপ = ১২০ × (৮০ − t)

$$\therefore\ ৮৫০ + ১০t = ৯৬০০ - ১২০t$$

$$\therefore\ t = ৬৭'৩°C.$$

5. Find the result of mixing 2 lbs of ice at O°C with 3 lbs of water at 45°C. (C. U. 1931)

(এইরূপ অঙ্কে প্রথমে O°তে আসিতে উষ্ণ দ্রব্য দ্বারা পরিত্যক্ত তাপ (M) এবং গলিবার জন্য বরফ দ্বারা গৃহীত তাপ (S) বাহির কর। যদি M অপেক্ষা S বেশী হয় তবে খানিকটা বরফ গলিবে এবং মিশ্রণের উষ্ণতা O°C থাকিবে। যদি S অপেক্ষা M বেশী হয় সমস্ত বরফ গলিবে এবং মিশ্রণের উষ্ণতা O°Cর বেশী হইবে।): মনে কর ১ পাউণ্ড = M গ্রাম. ৪৫°C হইতে O°Cতে নামিতে = ৩ M গ্রাম জল দ্বারা পরিত্যক্ত তাপ = ৪৫ × ৩ M = ১৩৫ M ক্যা.। ৮০ M ক্যালোরী M গ্রাম (= ১ পাঃ) বরফ গলায় ∴ ১৩৫ M ক্যাঃ তাপে = $\frac{১৩৫\ M}{৮০\ M}$ পাউণ্ড = $\frac{১৩৫}{৮০}$ পাঃ বরফ গলিবে। বাকী $\left(২\ পাঃ - \frac{১৩৫}{৮০} = \right)\ \frac{৫}{১৬}$ পাঃ বরফ গলিবে না। ইহা O°Cতে থাকিবে।

6. (a) A room contains 30 litres of air at 15°C (sp. heat = ·2375) weighing 1·29 gm per litre. What heat is required to raise the temperature of the room to 30°C. (C. U. 1946)

১৫°C উষ্ণতায় ৩০ লিটার বায়ুর ওজন = ১·২৯ × ৩০ = ৩৮·৭ গ্রাম।

প্রয়োজনীয় তাপ = বায়ুর ভর × আঃ তাপ × উষ্ণতা-বৃদ্ধি = ৩৮·৭ × ·২৩৭৫ × ১৫ = ১৩৭৮ ক্যাঃ।

(b) If 100 gm of steam at 100°C condenses to water at the same temperature, how many calories are given off? (C. U. 1946)

মোট পরিত্যক্ত তাপ = বাষ্পের ভর × লীন তাপ = ১০০ × ৫৩৭ = ৫৩৭০০ ক্যাঃ।

7. A copper calorimeter weighs 50 gms and contains 200 gms of water at 20°C. 20 gms of dry ice are added and stirred well. The final temperature is 11°C. Find the latent heat of fusion of ice (sp heat of Cu is ·095). (C. U. 1945)

মনে কর বরফের লীন তাপ = L.

২০° হইতে ১১°C পর্যন্ত শীতল হইতে ক্যালোরিমিটার ও জল দ্বারা পরিত্যক্ত তাপ = গলিবার জন্য বরফ দ্বারা গৃহীত তাপ + 0° হইতে ১১°C পর্যন্ত উষ্ণ হইবার জন্য গলিত জল দ্বারা গৃহীত তাপ।

ক্যালোরিমিটার দ্বারা পরিত্যক্ত তাপ = ভর × আঃ তাঃ × উষ্ণতা হ্রাস
= ৫০ × ·০৯৫ × (২০ − ১১) ক্যাঃ

জল দ্বারা পরিত্যক্ত তাপ = ২০০ × ১ × (২০ − ১১) ক্যাঃ

বরফ দ্বারা গৃহীত তাপ = ভর × লীন তাপ = ২০ × L ক্যাঃ

বরফগলা জল দ্বারা গৃহীত তাপ = ভর × উষ্ণতা-বৃদ্ধি
= ২০ × ১ × ১১ ক্যাঃ

∴ ৫০ × ·০৯৫ × ৯ + ২০০ × ৯ = ২০ × L + ২০ × ১১

২০L = ৯ × (২০০ + ৫০ × ·০৯৫) − ২০ × ১১ = ৯ × ২০৪·৭৫ − ২২০

∴ L = ১৬১২·৭৫ / ২০ = ৮১·১৪ ক্যা. প্রতি গ্রামে.

প্রশ্ন

1. What is the unit quantity of heat? Define the thermal capacity of a body. Define water equivalent of a body.

(C. U. 1926, '43, '45. P. U. 1916)

2. Define specific heat. Explain what do you mean by the specific heat of copper is ·098. What is meant by saying that the specific heat or water is thirty times as great as that of mercury.

(C. U. 1917, '18, '19, '20, '26, '36, '38, '40, '42)

3. Describe an xperiment to determine the water-equivalent of a calorimeter and the thermal capacity of a body. (C. U. 1918)

4. How do you determine the specific heat of a piece of a metal? Mention the precautions that you take for ensuring correct result. (C. U. 1917, '20, '34, '36, '38, '40, '42. D. U. 1927, '35)

5. How would you determine the specific heat of a liquid?

(C. U. 1915, '22, '25, '29. D. U. 1915, '21, '29)

6. Describe how do you measure the temperature of a furnace by calorimetric principle. (P. U. 1929)

7. Explain what do you mean by 'latent heat'.

(C. U. 1917, '18, '20, '22, '45. P. U. 1918. D. U. 1932)

8. What is meant by the statement: (i) Latent heat of fusion of ice is 80 calories. (C. U. 1912, '28, '31). (ii) Latent heat of lead is 5·7. (C. U. 1927)

9. Describe a method for finding the latent heat of fusion of ice as accurately as possible. (C U. 1913, '20, '26, '39, '47. P.U. 1918, '26, '28. D. U. 1936)

10. Describe any method of determining the latent heat of steam in the laboratory. (C. U. 1931, D. U. 1928, A. U. 1918)

11. Explain how the specific heat of a solid may be determined by means of the ice-calorimeter.

অবস্থান্তর (Change of State)

কঠিন ও তরল

৬৮। **সংগা :** (ক) তাপ-বৃদ্ধিতে কঠিন হইতে তরলে পরিণতিকে **গলন** (Fusion বা Melting) বলে; যথা বরফ হইতে জল। তাপ-হ্রাসে তরল হইতে কঠিনে পরিণতিকে **ঘনীভবন** (Solidification বা Freezing) বলে; যথা জল হইতে বরফ। তাপ-বৃদ্ধিতে তরল হইতে গ্যাসে পরিণতিকে **বাষ্পীভবন** (Vaporisation) বলে; যথা জল হইতে বাষ্প। তাপ-হ্রাসে গ্যাস হইতে তরলে পরিণতিকে **তরলীভবন** (Condensation বা Lique faction) বলে; যথা বাষ্প হইতে জল। কোন কোন কঠিন পদার্থ তরল না হইয়া একবারে বাষ্পীভূত হয়; এই প্রক্রিয়াকে **ঊর্ধ্বপাতন** (Sublimation বা Volatilization) বলে; যথা আওডিন, কর্পূর।

অবস্থান্তরের সময় তিনটি ঘটনা ঘটে : (১) তাপ হয় গৃহীত হয়, না হয় পরিত্যক্ত হয়, (২) উষ্ণতা একই থাকে, (৩) আয়তন পরিবর্তন হয়।

৬৯। **গলনাঙ্ক** (Melting point) : কোন কঠিনে ক্রমাগত তাপ প্রয়োগ করিলে ইহার উষ্ণতা বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হইতে হইতে একটি নির্দিষ্ট মানে পৌছিলে কঠিন গলিতে আরম্ভ করে এবং যতক্ষণ সমস্ত কঠিনের গলন শেষ না হয় ততক্ষণ এই উষ্ণতা স্থির থাকে। গলন শেষ হইলে আরও তাপ প্রয়োগ করিলে গলিত দ্রব্যের উষ্ণতা বাড়িতে থাকে। সাধারণ বায়ুর চাপে এই নির্দিষ্ট উষ্ণতাকে **গলনাঙ্ক** বলে। বিভিন্ন পদার্থের গলনাঙ্ক বিভিন্ন। 'সীসার গলনাঙ্ক ৩২৭°C' বলিলে বুঝিব যে সাধারণ বায়ুর চাপে খানিকটা সীসা লইয়া তাপ প্রয়োগ করিলে ইহার উষ্ণতা বাড়িতে বাড়িতে যখন ৩২৭°Cএ পৌছায় তখন সীসা গলিতে আরম্ভ করে এবং যতক্ষণ না সমস্ত সীসা গলিয়া যায় ততক্ষণ এই উষ্ণতা স্থির থাকে। হাইড্রোজেনের গলনাঙ্ক −২৫৯°C বলিলে বুঝায় সাধারণ চাপে কঠিন হাইড্রোজেন −২৫৯°C তরলে পরিণত হয়। কাচ, মোম, লোহা, ঝাল প্রভৃতি কতকগুলি পদার্থ গলিবার পূর্বে অর্থাৎ একবারে শক্ত কঠিন হইতে তরল হইবার পূর্বে নরম বা সান্দ্র (plastic বা viscuous) অবস্থায় আসে। এই

নরম অবস্থায় ইহাদিগকে যে কোন ছাঁচে বা পদার্থে পরিণত করা যায়। ইহাদিগের গলনাঙ্ক নির্দিষ্ট নয়।

বিভিন্ন স্কেলের থার্মমিটারে একই দ্রব্যের গলনাঙ্ক বিভিন্ন হয়।

৭০। **হিমাঙ্ক** (Freezing point): সাধারণ চাপে বিশুদ্ধ তরলের ক্রমাগত তাপ-হ্রাস করিলে উষ্ণতা কমিতে কমিতে একটি নির্দিষ্ট মানে পৌছিলে তরল ঘনীভূত হইতে আরম্ভ করে এবং যতক্ষণ সমস্ত তরল ঘনীভূত না হয় ততক্ষণ এই উষ্ণতা স্থির থাকে। এই নির্দিষ্ট উষ্ণতাকে **হিমাঙ্ক** বলে। ইহার পরেও তাপ-হ্রাস করিলে কঠিনের উষ্ণতা কমে। বিভিন্ন পদার্থের হিমাঙ্ক বিভিন্ন হয় কিন্তু সাধারণতঃ একই পদার্থের গলনাঙ্ক ও হিমাঙ্ক অভিন্ন হয়। কতকগুলি চর্বি জাতীয় পদার্থের হিমাঙ্ক ও গলনাঙ্ক পৃথক হয়, যথা মাখন ৩৭°Cএ গলে কিন্তু ২০°Cএ জমে। গ্লিসারিণ, এ্যাসেটিক এ্যাসিড প্রভৃতি কতকগুলি তরল একবারে কঠিন না হইয়া নরম বা সান্দ্র অবস্থায় আসে। ইহাদিগের নির্দিষ্ট হিমাঙ্ক নাই।

৭১। **অতি-শীতলীকরণ** (Supercooling): কতকগুলি তরলকে বিশুদ্ধাবস্থায় ধীরে ধীরে না নাড়িয়া শীতল করিলে ইহাদের ঘনীভূত না করিয়াও হিমাঙ্কের নীচে শীতল করা যায়। বায়ুশূন্য বিশুদ্ধ জলকে −২০°C পর্যন্ত শীতল করা গিয়াছে। এই ঘটনাকে **অতি-শীতলীকরণ** বলে। তরলের এই অবস্থা দুঃস্থিত কারণ এই তরলকে একটু নাড়িলে বা তরলের মধ্যে কঠিনের এক টুক্‌রা ফেলিয়া দিলে উষ্ণতা হিমাঙ্কে বাড়িয়া যায় এবং তরল ঘনীভূত হইতে আরম্ভ করে।

৭২। **ঘনীভবনে ও গলনে আয়তনের পরিবর্তন**: গলনে সকল কঠিনের আয়তন পরিবর্তিত হয়। সাধারণতঃ কঠিন গলনে আয়তনে বাড়ে এবং ঘনীভবনে আয়তনে কমে। কিন্তু জল বরফ, লোহা, বিস্‌মাথ, পিতল প্রভৃতি কয়েকটি পদার্থ ঘনীভবনে আয়তনে বাড়ে। সেইজন্য প্রথম ক্ষেত্রে কঠিন গলিত তরলে ডুবিয়া যায় এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে কঠিন গলিত তরলে ভাসে। বরফ জলে ভাসে; ঢালাই লোহা গলিত লোহায় ভাসে।

গলিত লোহা ছাঁচে ঢালিলে লোহা কঠিন হইবার সময় আয়তনে বাড়ে

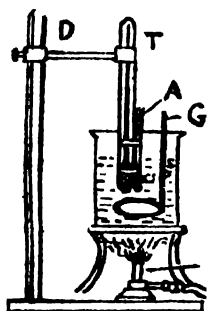
সেইজন্য কঠিন লোহা ছাঁচের প্রত্যেক অংশে আঁটিয়া ধরে। ঢালাই দ্রব্যটি হুবহু ছাঁচের মত হয়।

৭৩। **ঘনীভবনে জলের আয়তন-বৃদ্ধি ঃ** জল বরফ হইলে আয়তন শতকরা ৯ ভাগ বাড়ে অর্থাৎ ১°C উষ্ণতায় ১১ ঘঃ সেঃ মিঃ জল একই উষ্ণতায় ১২ ঘঃ সেঃ মিঃ বরফ হয়। জল বরফ অপেক্ষা $\frac{১২}{১১}$ গুণ ভারী হয়। সেইজন্য বরফ জলে ভাসে। বরফের $\frac{১১}{১২}$ ভাগ আয়তন জলের মধ্যে থাকে এবং $\frac{১}{১২}$ ভাগ জলের বাহিরে থাকে। বরফ হইতে জল হইলে আয়তন $\frac{১}{১২}$ ভাগ কমে।

পরীক্ষা ঃ এক গ্লাস জলে খানিকটা বরফ লও। গ্লাসের গায়ে জলতলে দাগ দাও। সমস্ত বরফ গলিতে দাও। জলতলের অবস্থান পূর্বস্থানে থাকিবে। কেন? বরফ-গলা জলের আয়তন বরফের আয়তন অপেক্ষা $\frac{১}{১২}$ ভাগ কম হয় এবং জলের উপরে বরফের আয়তন মোট বরফের আয়তনের $\frac{১}{১২}$ ভাগ হয়। ∴ বরফ-গলা জলের আয়তন = বরফের নিমজ্জিত অংশের আয়তন। বরফ-গলা জলের জন্য অতিরিক্ত স্থানের দরকার হয় না। সেইজন্য **জলতলের কোন পরিবর্তন হয় না।**

জল বরফ হইলে আয়তন-বৃদ্ধির সঙ্গে বল প্রয়োগ করে সুতরাং কোন বদ্ধ শক্ত পাত্রে জলভর্তি করিয়া হিমমিশ্রের মধ্যে রাখিলে কিছুক্ষণ পর জল বরফ হইলে পাত্রটি ফাটিয়া যায়। শীতপ্রধান দেশে রাত্রিতে জলের কল ফাটিয়া যায়। যদি জল ঘনীভূত হইলে আয়তনে কমিত তবে শীতপ্রধান দেশে শীতকালে পুকুরে নদীর বা হ্রদের জল জমিয়া ভারী হইয়া তলদেশে চলিয়া যাইত এবং এইরূপে পুকুর, নদী বা হ্রদের সমস্ত জল জমিয়া বরফ হইত। জলচর প্রাণী মরিয়া যাইত। বরফ তাপ-কুপরিবাহী সেইজন্য বরফের নীচের জলের তাপ বরফের মধ্য দিয়া শীঘ্র বাহিরে চলিয়া যাইতে পারে না। সেইজন্য শীতপ্রধান দেশে চরম শীতেও নদী বা সমুদ্রের জল বেশী দূর জমে না। গ্রীষ্মে সূর্যতাপে বরফের উপরভাগ গলিয়া জল হয়। জল ভারী বলিয়া বরফের নীচে চলিয়া যায়। সূর্যের তাপে আরও বরফ গলে। সুতরাং জলের ঘনীভবনে আয়তন-বৃদ্ধি শীতকালে বেশী জলকে বরফ হইতে দেয় না এবং গ্রীষ্মকালে বেশী বরফ গলাইতে সাহায্য করে।

৭৪। গলনাঙ্ক নির্ণয় : (ক) কৌশিক-নল প্রক্রিয়া (Capillary Tube Method) :

পরীক্ষা—সরু রন্ধ্র বিশিষ্ট কাচনলকে তীব্র আগুণে (যথা ফুংশিখায় —blowpipe flame) নরম করিয়া তাড়াতাড়ি টানিলে কাচনল কৌশিক নলে পরিণত হইবে। এইরূপ ১০ সেঃ মিঃ দীর্ঘ একমুখ বন্ধ A কৌশিক নলে অল্প চূর্ণ কঠিন পদার্থ ঢোকাও। একটি T থার্মমিটারের কুণ্ডের সঙ্গে কৌশিক নলকে রবার দিয়া বাঁধ। থার্মমিটারকে একটি তৈলগাহে বা

২৭নং চিত্র

উদ্‌গাহে (oil or water bath) সাবধানে ডুবাও যেন সব সময়েই কৌশিক নলের খোলামুখ জলের উপর থাকে কিন্তু কঠিন পদার্থের সবটা জলের মধ্যে থাকে। এই অবস্থায় থার্মমিটারকে বন্ধনী D দিয়া আটকাও। E দীপ দ্বারা জলকে ধীরে ধীরে উত্তপ্ত কর এবং G আলোড়ক দিয়া তৈল বা জল নাড়িতে থাক। যে উষ্ণতায় অস্বচ্ছ কঠিন স্বচ্ছ তরলে পরিণত হয় তাহা লক্ষ্য কর। দীপ সরাইয়া লও। যে উষ্ণতায় স্বচ্ছ তরল আবার অস্বচ্ছ কঠিনে পরিণত হয় তাহা লক্ষ্য কর। এই দুই উষ্ণতার গড় গলনাঙ্ক হইবে। এই দুই উষ্ণতার—গলনাঙ্কর ও হিমাঙ্কর—পার্থক্য ½°র বেশী হয় না। কঠিন অল্প পরিমাণ পাওয়া গেলে এই প্রক্রিয়া অবলম্বন করা হয়। কঠিন পদার্থের বিশুদ্ধতা গলনাঙ্ক দ্বারা নির্ণীত হয়। সবটা পদার্থ একটি নির্দিষ্ট গলনাঙ্কে গলিলে বুঝিতে হইবে পদার্থ বিশুদ্ধ আছে।

(খ) **শীতল ছক প্রক্রিয়া** (Cooling Curve Method) : একটি মোটা পরীক্ষা নলে (test tube) খানিকটা কঠিন পদার্থ রাখিয়া নলকে উদ্‌গাহে গরম করিয়া সব কঠিনটাকে গলাইয়া ফেল। নলকে আরও গরম করিয়া গলিত দ্রব্যের সামান্য উষ্ণতা বৃদ্ধি কর। ইহার ভিতর থার্মমিটারের কুণ্ড রাখ। নলকে আগুণ হইতে সরাইয়া একটি বড় পাত্রের ভিতর রাখ। ইহাকে নাড়াচড়া না করিয়া ধীরে ধীরে শীতল হইতে দাও। এক মিনিট অন্তর উষ্ণতা লও। নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তরল ঘনীভূত হইতে আরম্ভ করিলে উষ্ণতা

অপরিবর্তিত থাকিবে। সমস্ত তরল ঘনীভূত হইলে আবার উষ্ণতা কমিতে আরম্ভ করিবে। ঘনীভূত হইবার পরও কিছুক্ষণ সময় ও উষ্ণতা লিখিয়া রাখ। ঘনীভূত কঠিনকে তাপ প্রয়োগে গলাইলে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ইহার সমস্তটা গলিবে। দুই নির্দিষ্ট উষ্ণতা এক হইবে। সময়কে ভুজ (abscissa) ও উষ্ণতাকে কোটি (ordinate) ধরিয়া ছক টান। ছকের একটি অংশ সময়ের অক্ষের (axis) সহিত সমান্তরাল হইবে। এই অংশের আনুষঙ্গিক উষ্ণতা হইল হিমাঙ্ক বা গলনাঙ্ক। কঠিন বেশী পরিমাণ পাওয়া যাইলে এই প্রক্রিয়া অবলম্বন করা হয়। (ছকটি পুস্তকের শেষে দেওয়া হইয়াছে।)

প্যারাফিন ও চর্বিজাতীয় পদার্থ কতকগুলি বিভিন্ন দ্রব্যের সংমিশ্রণ। ইহাদের নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক নাই। এইরূপ পদার্থের গলনাঙ্কের ছকে মিশ্রণের প্রত্যেক উপাদানের গলনাঙ্কের আনুষঙ্গিক অনুভূমিক ধাপ থাকে। কাচ, গালা, লোহা অনেকক্ষণ পর্যন্ত নরম অবস্থায় থাকে। সেইজন্য এইসব ক্ষেত্রে ছকটি আস্তে আস্তে সময় অক্ষের সহিত পরিবর্তিত হয় কিন্তু সময় অক্ষের সহিত সমান্তরাল হয় না।

৭৫। **সংকর ধাতুর গলনাঙ্ক**—সংকর ধাতুর (alloy) গলনাঙ্ক উপাদান ধাতুর গলনাঙ্কের চেয়ে কম হয়। যে পদার্থের গলনাঙ্ক খুব উচ্চ তাহাকে নিম্ন উষ্ণতায় গলাইতে হইলে পদার্থের সহিত বিগালক (flux) মিশাইতে হয়। Wood's Metal টিন, সীসা, ক্যাডমিয়াম ও বিস্‌মাথের সংকর ধাতু। Rose's Metal টিন, সীসা ও বিস্‌মাথের সংকর ধাতু। প্রথম ধাতুর গলনাঙ্ক ৬০·৫°C, দ্বিতীয় ধাতুর গলনাঙ্ক ৯৪·৫°C। এই ধাতুগুলির গলনাঙ্ক কম বলিয়া সামান্য তাপ প্রয়োগে গলিয়া যায়। এই গুণের জন্য এই ধাতুগুলিকে স্বয়ংক্রিয় অগ্নি-নির্বাপক (fire extinguisher) যন্ত্রে ব্যবহার করা হয়। এই যন্ত্রে জলের নলের মুখে এই ধাতুর একটি ছিপি (plug) থাকে। হঠাৎ ঘরে আগুন লাগিলে তাপে ছিপি আপনা হইতে গলিয়া যায় এবং জল চাপের জন্য নল হইতে বেগে বাহির হইয়া আগুন নিভাইয়া দেয়। অগ্নি-সংকেতে তড়িৎ-বর্তনীর (electric circuit) মধ্যে কোন স্থানে এই ধাতুর ছিপি এমন ভাবে দেওয়া থাকে যে উহা আগুনে গলিয়া যাইলে বর্তনী সম্পূর্ণ হয় এবং সংকেত ঘণ্টা বাজিয়া উঠে। তড়িৎ fuseএ এই ধাতু ব্যবহৃত হয়।

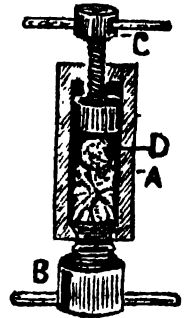
৭৬। গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব: নিয়ম: (ক) যে সকল পদার্থ গলিলে আয়তনে কমে সেই সকল পদার্থের **গলনাঙ্ক** চাপ-বৃদ্ধিতে **কমিয়া** যায়, চাপ-হ্রাসে গলনাঙ্ক বাড়িয়া যায়। বরফ গলিলে আয়তনে কমে। বাহ্যিক চাপ-বৃদ্ধি পদার্থের আয়তন কমাইতে চেষ্টা করে সেইজন্য বাহ্যিক চাপ-বৃদ্ধি এইরূপ পদার্থকে কম উষ্ণতায় গলিতে সাহায্যে করে। ইহাতে পদার্থের গলনাঙ্ক কমিয়া যায়। বায়ুমণ্ডলের চাপের ১৬০ গুণ চাপ প্রয়োগে বরফের গলনাঙ্ক ১°C কমে। বায়ুশূন্য স্থানে বরফ ·০০৭৩°C উষ্ণতায় গলে। এই অবস্থায় বরফের উপর কোন চাপ থকে না। চাপ অপসরণে বরফের গলনাঙ্ক বাড়িয়াছে। গলনাঙ্কের হ্রাস দেখিয়া অণুর ওজন বাহির করা হয়।

(খ) যে সকল পদার্থ গলিলে আয়তনে বাড়ে সেই সকল পদার্থের গলনাঙ্ক চাপ-বৃদ্ধিতে বাড়িয়া যায়। মোম গলিলে আয়তনে বাড়ে। বাহ্যিক চাপ-প্রয়োগে পদার্থের আয়তন কমে সেইজন্য বাহ্যিক চাপ এইরূপ পদার্থকে গলিতে বাধা দেয়। বর্ধিত চাপে পদার্থ গলিতে বেশী তাপ গ্রহণ করে। সেইজন্য পদার্থের গলনাঙ্ক বাড়িয়া যায়।

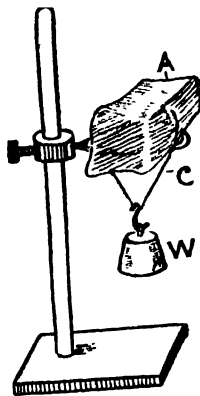
৭৭। পুনঃ শিলীভবন (Regelation): দুই খণ্ড বরফকে জোরে কয়েক সেকেণ্ড চাপিয়া ধরিয়া ছাড়িয়া দিলে ইহারা স্পর্শতলে জোড়া লাগিয়া এক খণ্ড বরফ হয়। কেন? স্পর্শতলে চাপ-বৃদ্ধি পাওয়ায় বরফের গলনাঙ্ক কমিয়া যায় অর্থাৎ 0°C অপেক্ষা নীচে নামিয়া যায় সুতরাং 0°C উষ্ণতা স্পর্শ-তলের বরফের গলনাঙ্কের চেয়ে বেশী হওয়ায় স্পর্শতলের বরফ 0°C উষ্ণতায় কঠিন থাকিতে পারে না, গলিয়া জল হয়। পার্শ্ববর্তি বরফ প্রয়োজনীয় লীনতাপ সরবরাহ করিয়া খানিকটা শীতল হয়। চাপ সরাইয়া লইলে স্পর্শতলে আবার 0°C উষ্ণতা বরফের গলনাঙ্ক হয় সুতরাং স্পর্শতলে দুই বরফ খণ্ডের মধ্যস্থিত বরফগলা জল আবার জমাট বাঁধিয়া দুই বরফ খণ্ডকে জোড়া লাগায়। ইহাতে পার্শ্বস্থিত অধিক শীতল বরফ আবার 0°Cতে উঠিয়া আসে। এই কার্যে বরফগলা জল হইতে তাপ সরবরাহ হয়। মনে রাখা দরকার চাপে বরফের প্রকৃত উষ্ণতা কমে না, কেবল গলনাঙ্ক কমে। যদি বরফের উষ্ণতা 0°C উষ্ণতার কম হয় তবে হাতের চাপে বরফ খণ্ড জোড়া লাগিবে না। বেশী চাপ দরকার হইবে।

চাপ-বৃদ্ধিতে বরফের গলন এবং চাপ-হ্রাসে বরফ-গলা জলের ঘনীভবন—এই ঘটনাদ্বয়কে **পুনঃ শিলীভবন** (পুনরায় কঠিন হওয়া) বলে।

নিম্নলিখিত দুইটি পরীক্ষা দ্বারা চাপ-বৃদ্ধিতে গলনাঙ্কের হ্রাস ও পুনঃ শিলীভবন দেখান যায়।

পরীক্ষা : Mousson's যন্ত্র : এই যন্ত্রে একটি শক্ত লোহার চোঙ A থাকে। ইহার এক মুখ স্ক্রু-ছিপি (Screw plug) B দিয়া বন্ধ থাকে। অপর মুখে স্ক্রু-পিষ্টন C থাকে। চোঙের অর্ধেকের বেশী জলে ভর্তি করিয়া হিমমিশ্রের মধ্যে রাখ। চোঙের জল জমিয়া বরফ হইবে। বরফের উপর একটা ধাতব বল D রাখ। পিষ্টন দিয়া চোঙের মুখ বন্ধ কর। চোঙটাকে বরফের মধ্যে রাখ। পিষ্টনের স্ক্রু ক্রমশ ঘুরাইয়া পিষ্টনকে ভিতরের দিকে জোরে ঠেলিয়া দাও। এখন নীচের স্ক্রু B খুলিয়া ফেলিলে দেখিবে বলটি সকলের নীচে চলিয়া গিয়াছে কিন্তু ভিতরের জল এখনও জমাট বাঁধিয়া আছে। চাপে বলের নীচের বরফ গলিয়া যায়, বলটি ক্রমশঃ নীচে চলিয়া যায় কিন্তু চাপ সরাইয়া লইলে বলের উপরে বরফ-গলা জল পুনরায় জমাট বাঁধে।

২৮নং চিত্র

পরীক্ষা : (Bottomleyর পরীক্ষা) : একটি উচু অবলম্বনের উপর বরফের একটি বড় তাল A রাখ। বরফ খণ্ডের উপর দিয়া মাঝ বরাবর একটি তামার তার C ঝুলাইয়া দাও। তারের দুই প্রান্ত একত্র করিয়া W ভার বাঁধিয়া দাও। খানিকক্ষণ পরে দেখা যায় যে তামার তারটি বরফকে কাটিয়া নীচে নামিয়া গিয়াছে কিন্তু বরফ খণ্ড -অবিভক্ত রহিয়াছে। কেন ? দুই প্রান্তে ভারের জন্য তারের ঠিক নীচের বরফে খুব চাপ পড়ে। শুধু তারের নীচের বরফের গলনাঙ্ক 0°Cর নীচে নামিয়া যায়। অর্থাৎ যদিও এই বরফ 0°C উষ্ণতায় থাকে তবুও চাপে গলিয়া যায়। পরীক্ষার প্রথমে গলনের লীনতাপ তার ও বায়ু হইতে সংগৃহীত হয়। সেইজন্য বায়ুর উষ্ণতা 0°Cর কম হইলে তার বরফের মধ্য দিয়া যাইবে না। তারপর তার বরফের মধ্যে নীচের দিকে চলিয়া যাইতে থাকে। বরফ-গলা জল তারের উপরে আসে। সেখানে জলের উপর কোন চাপ থাকে না অধিকন্তু তামার

তার তাপের সুপরিবাহী হওয়ায় উপরের এই জল হইতে তামার তারের মধ্য দিয়া তাপ তারের নীচের বরফ গলাইবার কাজে চলিয়া যায়। সেইজন্য তারের উপরের জলের O°C উষ্ণতা হইতে উষ্ণতা-হ্রাস হওয়ায় উহা জমিয়া যায়। অতএব তারের নীচের বরফ গলাইবার জন্য শোষিত লীন তাপ তারের উপরের জলের ঘনীভবনের পরিত্যক্ত লীন তাপ হইতে সংগৃহীত হয়। তারের ধাতু যত তাপের সুপরিবাহী হইবে তত শীঘ্র বরফের মধ্য দিয়া তার কাটিয়া যাইবে। সুতা কুপরিবাহী বলিয়া ইহা মোটেই বরফের মধ্য দিয়া কাটিয়া যাইবে না। এই একই কারণে হিমবাহ আস্তে আস্তে চলিতে থাকে। বরফের উপর দিয়া চলিতে গেলে মানুষের চাপে পায়ের নীচে বরফ গলিয়া যায় এবং বরফ-গলা জলে পা পিছলাইয়া যায়। লোহা গলিলে আয়তনে কমে সেইজন্য চাপ-বৃদ্ধিতে গলিত লোহার উষ্ণতা কমে আবার উষ্ণতা কমিলে ইহার আয়তন বাড়ে। লোহার এই দুইটি গুণ দুই খণ্ড লোহাকে জোড়া লাগাইতে (welding) সাহায্য করে।

২৯নং চিত্র

৭৮। **হিমমিশ্র** (Freezing mixture)ঃ (ক) কঠিনকে তরলে দ্রবীভূত করিলে অনেক ক্ষেত্রে দ্রবণের জন্য তাপ দরকার হয়। এই তাপকে দ্রবণ-তাপ (heat of solution) বলে। (খ) লবণ-দ্রবণের হিমাঙ্ক বিশুদ্ধ জলের হিমাঙ্কের চেয়ে কম। এই দুই নীতির দ্বারা হিমমিশ্রের ক্রিয়া নিয়ন্ত্রিত হয়। (ক) জলে চিনি বা লবণ গুলিলে জলের ক্রিয়ায় চিনি বা লবণ গলিয়া যায়। জলই দ্রবণ-তাপ সরবরাহ করে সুতরাং জলের উষ্ণতা কমিয়া যায়। বরফ ও লবণ একসঙ্গে মিশাইলে দুই উপায়ে মিশ্রণের উষ্ণতার হ্রাস হয়। প্রথমতঃ বরফ এই মিশ্রণ হইতে লীন তাপ শোষণ করিয়া গলিয়া যায়। দ্বিতীয়তঃ বরফ-গলা জল লবণকে গলাইতে মিশ্রণ হইতে দ্রবণ তাপ গ্রহণ করে।

(খ) লবণ জলে দ্রবীভূত হইলে যে দ্রবণ পাওয়া যায় তাহার হিমাঙ্ক O°Cর নীচে নামিয়া যায় সুতরাং শীতল হইলেও দ্রবণ ঘনীভূত হয় না।

বিভিন্ন হিম মিশ্রের উষ্ণতা: বরফ ও Ammonium Nitrate,—১৭'৪°C, বরফ ও লবণ,—২২°C, বরফ ও Calcium Chloride,—৫৫°C, বরফ ও Carbon Dioxide, —৭৭°C.

দ্রষ্টব্য: কোন কোন পদার্থ জলে গুলিলে রাসায়নিক ক্রিয়া হয়। এই রাসায়নিক ক্রিয়াঃ তাপ উৎপন্ন হইতে পারে। যদি এই তাপ গলনের তাপ হইতে বেশী হয় তবে দ্রবণের উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়। জলে কষ্টিক সোডা গুলিলে দ্রবণের উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়।

৭৯। **গলনের নিয়ম** (Laws of Fusion): গলনের ও ঘনীভবনের উপরোক্ত নিয়মগুলি এইরূপ: (ক) কঠিন নির্দিষ্ট চাপে ও নির্দিষ্ট উষ্ণতায় গলে। সেই চাপে এই উষ্ণতাকে গলনাঙ্ক বলে। গলনাঙ্ক ও হিমাঙ্ক একই হয়। বিভিন্ন কঠিনের গলনাঙ্ক বিভিন্ন। (খ) গলিবার সময় উষ্ণতা অপরিবর্তিত থাকে যদিও গলিবার হার তাপ সরবরাহের সহিত সমানুপাতিক হয়। (গ) যে পদার্থ গলিলে আয়তনে বাড়ে, চাপ-বৃদ্ধিতে তার গলনাঙ্ক বাড়ে। যে পদার্থ গলিলে আয়তনে কমে, চাপ-বৃদ্ধিতে তার গলনাঙ্ক কমে। (ঘ) প্রত্যেক পদার্থের গলনের লীন তাপ বিভিন্ন।

তরল ও গ্যাস

৮০। **কোন পদার্থ দুই উপায়ে তরল হইতে গ্যাসীয় অবস্থায় রূপান্তরিত হয়, যথা:—**

(ক) **বাষ্পীভবন:** কোন চওড়া পাত্রে (যথা থালায়) খানিকটা জল রাখিয়া দিলে কয়েক দিনের মধ্যে ধীরে ধীরে জল বাষ্পীভূত হইয়া অদৃশ্য হইবে। ইথার, কোহল, তারপিণ তৈল শীঘ্র শীঘ্র উপিয়া যায়। বাষ্পীভবনের সময়ে তরলকে কোনরূপ নাড়াচাড়া করা হয় না সুতরাং বাষ্পীভবন শুধু তরলের উপরতল হইতে সংঘটিত হয়। সমস্ত উষ্ণতায় তরলের এই বাষ্পীভবন চলে।

অতএব **সর্ব উষ্ণতায় তরলের কেবল উপর তল হইতে মন্থর গতিতে তরলের বাষ্পে পরিণতিকে বাষ্পীভবন** বলে। যে সকল তরল খুব দ্রুত (readily) বাষ্পীভূত হয় তাহাদিগকে **উদ্বায়ী** (volatile) বলে।

যেমন কোহল, ইথার। বাষ্পীভবনে যে পদার্থ পাওয়া যায় তাহাকে **বাষ্প** (vapour) বলে। বাষ্প ও গ্যাস এক জাতীয় পদার্থ নহে (পার্থক্য পরে আলোচিত হইয়াছে)।

(খ) **স্ফুটন** (Boiling or Ebullition): একটি কাচ পাত্রের জল দীপে গরম করিলে জলের উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে বাষ্পীভবনের হার বৃদ্ধি পায়। প্রথমে আগুণের নিকটবর্তি জলের নিম্নতম স্তর গরম হয়। ইহা আয়তনে বাড়ে এবং হাল্কা হইয়া উপরে উঠিয়া আসে। উপরের শীতল ও ভারী স্তর নীচে নামিয়া আসিয়া ইহার স্থান দখল করে। এইরূপে সমস্ত জল উষ্ণ হয়।

জলে দ্রবীভূত বায়ুর বুদ্‌বুদ্‌ পাত্রের গায়ে জমিতে দেখা যায়। তৎপর বুদ্‌বুদ্‌গুলি উপরে উঠিয়া বাতাসে মিশিয়া যায়। কিছুক্ষণ পরে জলের নিম্নতম স্তরের উষ্ণতা ১০০°C বা ১০০°Cর একটু উপরে আসিলে এই জল ষ্টীমে পরিণত হয়। (১০০°C উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পকে **ষ্টীম** বলে।) ষ্টীম জলের চেয়ে হাল্কা বলিয়া বুদ্‌বুদের আকারে উপরের শীতলতর জলের স্তরের দিকে উঠিতে থাকে এবং উঠিতে উঠিতে আবার জমিয়া যায়। ইহাতেই জল ফুটিবার আগে সোঁ সোঁ শব্দ (simmering noise) হয়। ষ্টীম জমিবার সময় ইহার পরিত্যক্ত লীন তাপ উপরের জলকে উষ্ণ করিতে থাকে। যতক্ষণ না সমস্ত জলের উষ্ণতা নির্দিষ্ট উষ্ণতা ১০০°Cতে না পৌছায় ততক্ষণ এইরূপ চলে। সমস্ত জল ১০০°C উষ্ণতায় পৌছিলে সোঁ সোঁ শব্দ বন্ধ হয় এবং জলের সমস্ত অংশ হইতে প্রবলবেগে ষ্টীম উৎপন্ন হয়। জলের এই অবস্থাকে **স্ফুটন** বলে। যতক্ষণ পর্যন্ত সমস্ত জল বাষ্পে পরিণত না হয় ততক্ষণ পর্যন্ত উষ্ণতা নির্দিষ্ট থাকে যদি চাপ নির্দিষ্ট থাকে। নির্দিষ্ট চাপে এই নির্দিষ্ট উষ্ণতাকে **স্ফুটনাঙ্ক** (Boiling point) বলে। বিভিন্ন তরলের বিভিন্ন স্ফুটনাঙ্ক হয়।

অতএব **একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তরলের সকল অংশ হইতে দ্রুত গতিতে তরলের বাষ্পে পরিণতিকে স্ফুটন** বলে।

দ্রষ্টব্য: বায়ুশূন্য বিশুদ্ধ জলকে ফুটাইলে স্ফুটনাঙ্কের উপর সামান্য উষ্ণতা উঠিয়া যায়। ষ্টীমের বড় বড় বুদ্‌বুদ্‌ থাকিয়া থাকিয়া হঠাৎ সবেগে বাহির হয়। ইহাতে জল ছিট্‌কাইয়া পড়ে। ইহাকে Boiling by bumping বলে।

৮১। বাষ্পীভবন ও স্ফুটনের পার্থক্য: (ক) বাষ্পীভবন মন্থর পদ্ধতি। ইহার হার উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে বাড়ে। স্ফুটন দ্রুত পদ্ধতি। (খ) বাষ্পীভবন কেবল উপরতল হইতে হয়। স্ফুটন একসঙ্গে সমগ্র তরল হইতে হয়। (গ) বাষ্পীভবন সব উষ্ণতায় হয়। স্ফুটন একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় হয়।

৮২। স্ফুটন ও গলনের সাদৃশ্য: (ক) দুই পদ্ধতিতে উষ্ণতা স্থির থাকে। (খ) প্রত্যেক পদ্ধতিতে লীনতাপ শোষিত হয়। (গ) তরলকে যেমন হিমাঙ্কের নীচেও শীতল করা যায় তেমনি স্ফুটনাঙ্কের উপরেও উষ্ণ করা যায়। (ঘ) হিমাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক চাপের হ্রাস-বৃদ্ধিতে পরিবর্তিত হয়। (ঙ) দ্রাবকের (solvent) চেয়ে দ্রবণের (solution) হিমাঙ্ক কম হয় কিন্তু দ্রাবকের চেয়ে দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক বেশী হয়।

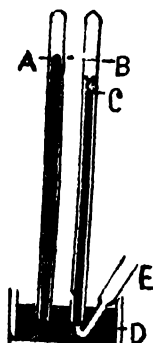
বাষ্পীভবন

৮৩। বাষ্পীভবনের হার পরিবর্তনের কারণ (Factors influencing rate of evaporation): বাষ্পীভবনের হার নিম্নলিখিত বিষয়ের উপর নির্ভর করে:—(ক) **তরলের প্রকৃতি:** তরলের স্ফুটনাঙ্ক যত কম হয় বাষ্পীভবনের হার তত বাড়ে। কোহল, ইথার বেশী দ্রুত বাষ্পীভূত হয়। (খ) **তরলের উষ্ণতা:** তরলের উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে বাষ্পীভবনের হারও বৃদ্ধি পায়। (গ) **তরলের উপরিতলের ক্ষেত্রফল:** বায়ুর সহিত সংলগ্ন তরলের ক্ষেত্রফল যত বাড়িবে বাষ্পীভবনের হারও তত বাড়িবে। সেইজন্য গ্লাস বা বাটি অপেক্ষা চওড়া পাত্রে জল শীঘ্র বাষ্পীভূত হয়। গরম দুধ বা চা জুড়াইবার জন্য চওড়া পাত্রে ঢালা হয়। (ঘ) **বায়ুর চাপ:** তরলের উপরে যত চাপ কমিবে তত বাষ্পীভবনের হার বাড়িবে। বায়ুশূন্য স্থানে তরল শীঘ্র শীঘ্র বাষ্পীভূত হয়। (ঙ) **বায়ুর শুষ্কতা:** বায়ুতে যত কম জলীয় বাষ্প থাকিবে বাষ্পীভবনের হার তত বাড়িবে। (চ) **বায়ু চলাচল:** তরলের উপরিস্থিত বায়ু সরাইয়া দিলে বাষ্পীভবনের হার বাড়ে। বাতাস প্রবাহিত হইলে ভিজা কাপড় শীঘ্র শুকায়।

৮৪। **বাষ্পের চাপ** (Vapour Pressure) : যে কোন উষ্ণতায় বাষ্প গ্যাসের স্থায় পাত্রের গায়ে চাপ প্রদান করে। এই চাপকে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় **তরলের বাষ্পের চাপ** বলে।

এই চাপের নিম্নলিখিত **বৈশিষ্ট্য** থাকে : (ক) নির্দিষ্ট উষ্ণতায় এই চাপের পরিমাণ নির্দিষ্ট থাকে। (খ) বিভিন্ন পদার্থের বাষ্পের চাপ বিভিন্ন হয়। (গ) বাষ্পের সঙ্গে অন্য গ্যাস মিশান থাকিলেও বাষ্পের চাপের তারতম্য হয় না। (ঘ) বাষ্পের চাপ বাষ্পের পরিমাণের উপর নির্ভর করে।

নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা **বাষ্পের চাপের বৈশিষ্ট্যগুলি** প্রমাণ করা যায় :—

(ক) **চাপের অস্তিত্বের প্রমাণ : পরীক্ষা :** দুইটি ৩৬ ইঞ্চি দীর্ঘ ব্যারোমিটার নল A ও B শুষ্ক বিশুদ্ধ পারদ পূর্ণ করিয়া একটি পারদ পূর্ণ পাত্র Dতে পাশাপাশি উল্টাইয়া রাখ। নল দুইটিকে বন্ধনী দিয়া আটকাও। দুই নলে পারদ একই উচ্চতায় দাঁড়ায়। পারদের উপরের স্থান প্রায় শূন্য থাকে, সামান্য পারদের বাষ্প থাকে। এই উচ্চতা বায়ুর চাপ নির্দেশ করে। (১ম খণ্ডে ব্যারোমিটার দেখ)। B নলে বাঁকা পিপেট (pipette) E দিয়া এক ফোঁটা জল প্রবেশ করাও। জল পারদ অপেক্ষা হাল্কা সুতরাং জলের ফোঁটা পারদস্তম্ভের মাথায় উঠে। সেখানে জল তৎক্ষণাৎ বাষ্পীভূত হয় এবং বাষ্প পারদের উপর চাপ দেয়। B নলের পারদ Cতে নামিয়া আসে। কিছুক্ষণ পরে দুই নলে পারদস্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য লক্ষ্য কর। এই পার্থক্য BC = বাষ্পের চাপের মাপ।

৩০নং চিত্র

(খ) **সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্প** (Saturated ও Unsaturated Vapour) : **পরীক্ষা :** B নলে আরও কয়েক ফোঁটা জল প্রবেশ করাও। এই জল বাষ্প হইয়া অধিক চাপ দেয়। B নলে পারদ আরও নামিয়া যায়। এইরূপে বার বার B নলে ফোঁটা ফোঁটা জল প্রবেশ করাইলে এমন অবস্থায়

আসিবে যে B নলে পারদের উপরের জল আর বাষ্পীভূত হইবে না। তরল জলই থাকিয়া যাইবে। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে **কোন নির্দিষ্ট আয়তনের বদ্ধ জায়গা নির্দিষ্ট উষ্ণতায় নির্দিষ্ট পরিমাণ বাষ্প ধারণ করিতে পারে।** এই অবস্থার জায়গাকে বাষ্প দ্বারা **সংপৃক্ত** (saturated) বলে। আমরা পূর্বেই বলিয়াছি বাষ্পের চাপ ∝ বাষ্পের পরিমাণ। সংপৃক্ত অবস্থায় জলীয় বাষ্পের পরিমাণ সর্বাধিক বলিয়া ইহার চাপও সর্বাধিক হয়। সেইজন্য সংপৃক্ত বাষ্পের চাপকে **চরম** বা **সংপৃক্ত চাপ** (Maximum বা Saturated Pressure) বলে। এই চরম অবস্থায় বাষ্প পৌঁছাইলে নলে বেশী তরল থাকিলেও উহা বাষ্পীভূত হইবে না। যদি কোন স্থান নির্দিষ্ট উষ্ণতায় যতটা বাষ্প ধারণ করিতে পারে তাহার চেয়ে সেই স্থানে কম বাষ্প থাকে তবে এই জায়গাকে বাষ্প দ্বারা **অসংপৃক্ত** (Unsaturated) বলা হয়। এইরূপ বাষ্পের চাপকে **অসংপৃক্ত চাপ** (Unsaturated Vapour Pressure) বলে।

বদ্ধ জায়গায় বাষ্পের সংস্পর্শে বেশী তরল থাকিলে সেই বাষ্পের চাপ সব সময়েই সংপৃক্ত থাকে। B নলে জলের পরিবর্তে অন্য তরল ঢুকাইয়া পরীক্ষা করিলে দেখা যাইবে যে সংপৃক্ত বাষ্পের পরিমাণ তরলের প্রকৃতি, তরলের উষ্ণতা ও বদ্ধ জায়গার আয়তনের উপর নির্ভর করে (পরে দ্রষ্টব্য)।

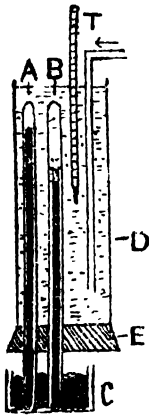
"৩০°C উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের সর্বোচ্চ চাপ ৩১ মিঃ মিঃ"—ইহার অর্থ এই যে কোন বদ্ধ জায়গা ৩০°C উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পে সংপৃক্ত থাকিলে বাষ্প যে চাপ দিবে তাহার মান ৩১ মিঃ মিঃ পারদস্তম্ভের ওজনের সমান।

(গ) বাষ্পের আয়তন হ্রাস-বৃদ্ধির ফল :

(১) নির্দিষ্ট উষ্ণতায় সংপৃক্ত বাষ্পের আয়তন হ্রাস-বৃদ্ধি ঃ

পরীক্ষা ঃ শুষ্ক পারদপূর্ণ একটি A ব্যারোমিটার নলকে শুষ্ক পারদ পূর্ণ একটি গভীর ও মোটা B নলে উপুড় কর। ছোট বাঁকান পিপেট দিয়া A নলে যথেষ্ট জল ঢোকাও যাহাতে পারদের উপর খানিকটা জল থাকে। A নলের উপরের শূন্য অংশ বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হইবে। A নলের পারদের উপরতল হইতে A নলের বদ্ধ প্রান্ত পর্যন্ত জায়গার দৈর্ঘ্য বাষ্পের আয়তনের সমানুপাতিক হয়।

ব্যারোমিটারের উচ্চতা ও B নলে পারদের তল হইতে A নলে পারদস্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য দ্বারা বাষ্পের **চাপের** পরিমাণ নির্ধারিত হয়। (৩১নং চিত্র)

A নলকে B নলের ভিতর আস্তে আস্তে নামাও। A নলে পারদের উপরকার জায়গার তথা বাষ্পের আয়তন ক্রমশঃ কমে। আয়তন কমিবার জন্য বাষ্প ক্রমশঃ জমিয়া জল হয়। পারদের উপর জলের পরিমাণ বাড়ে কিন্তু A নলে পারদস্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য হয় না অর্থাৎ আয়তন কমাইয়া চাপ বাড়াইবার চেষ্টা করিলে কিছু বাষ্প জমিয়া যায় কিন্তু চাপ একই থাকে।

৩২নং চিত্র ৩১নং চিত্র

এখন নলকে আস্তে আস্তে উপরের দিকে উঠাও; লক্ষ্য রাখিবে সব সময়েই ইহার খোলামুখ পারদের নীচে থাকে এবং জায়গাকে সংপৃক্ত রাখার জন্য পারদের উপর একটু জল থাকে। A নলে পারদের উপরকার জায়গার তথা বাষ্পের আয়তন বাড়ে। অধিক জল বাষ্পীভূত হইয়া অতিরিক্ত স্থান সংপৃক্ত করে কিন্তু A নলে পারদস্তম্ভের উচ্চতা একই থাকে, চাপ কমে না।

অতএব এই পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ হয় যে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় সংপৃক্ত স্থানে বাষ্পের পরিমাণ আয়তনের সমানুপাতিক হয় বটে কিন্তু সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ আয়তনের সমানুপাতিক হয় না অর্থাৎ **সংপৃক্ত বাষ্প বয়েল সূত্র মানে না।**

(২) নির্দিষ্ট উষ্ণতায় অসংপৃক্ত বাষ্পের আয়তন হ্রাস-বৃদ্ধি ঃ

পরীক্ষা ঃ ৩১নং চিত্রে A নলে মাত্র দু'এক ফোঁটা জল ঢোকাও। ইহাতে A নলে পারদের উপরের জায়গা বাষ্প দ্বারা অসংপৃক্ত থাকিবে। A নলের খোলা মুখকে B নলের পারদের নীচে রাখিয়া A নলকে ক্রমশঃ উপরে উঠাও। ইহাতে বাষ্পের আয়তন বাড়ে, নলে পারদস্তম্ভের উচ্চতা বাড়িতে দেখা যায় সুতরাং বাষ্পের চাপ কমিয়া যায়। প্রত্যেক ক্ষেত্রে স্কেল দিয়া

বাষ্পের চাপের মাপের জন্য A নলে পারদস্তম্ভের উচ্চতা এবং বাষ্পের আয়তনের জন্য পারদের উপরকার জায়গার দৈর্ঘ্য মাপ। ব্যারোমিটারের উচ্চতা ও পারদস্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য বাষ্পের চাপ হইবে।

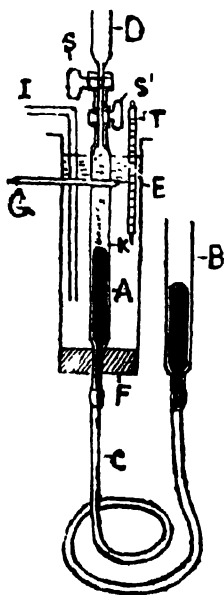
A নলকে B নলের ভিতরে ঢোকাও। ইহাতে বাষ্পের আয়তন কমিযা যায়। A নলে পাবদস্তম্ভের উচ্চতা কমিয়া যাইতে দেখা যায় সুতরাং বাষ্পেব চাপ বাড়িয়া যায। কিন্তু যখন চাপ বাড়িতে বাড়িতে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় চাপের চরম মানে পৌছায তখন জায়গাটা সংপৃক্ত হয়। আরও আয়তন কমাইলে চাপ বাড়ে না, কিছু বাষ্প জল হয়। উপরোক্ত উপায়ে বাষ্পের আয়তন ও আনুসঙ্গিক চাপ বাহির কর। দেখা যাইবে প্রত্যেক ক্ষেত্রে আয়তন ও চাপের গুণফল প্রায় একই থাকে। অর্থাৎ **অসংপৃক্ত বাষ্প মোটামুটি বয়েলের সূত্র মানে :**

(ঘ) বাষ্পের উষ্ণতা হ্রাস-বৃদ্ধির ফল :

(১) সংপৃক্ত বাষ্পের উষ্ণতার হ্রাস-বৃদ্ধি :

পরীক্ষা : A, B দুইটি পারদপূর্ণ ব্যারোমিটার নলকে C পাত্রে পারদের মধ্যে উল্টাইয়া রাখ। A ও B নলকে E কর্কের মধ্য দিয়া মোটা D পাত্রের মধ্যে খাড়াভাবে রাখ যাহাতে D পাত্রের জলে A ও B নল ডুবিয়া থাকে। এই জলে ষ্টীম বা বরফ দিয়া উষ্ণতাব-হ্রাস বৃদ্ধি করা হয় এবং T থার্মমিটার দিয়া জলের উষ্ণতা দেখা হয়। দুই নল একই D জলগাহে থাকাতে দুই নলের পারদস্তম্ভ উষ্ণতার দ্বারা সমভাবেই প্রভাবান্বিত হয়। B নলে বাঁকান পিপেট দিয়া যথেষ্ট জল প্রবেশ করাও যাহাতে জল বাষ্পীভূত হইয়াও সব সময়েই পারদের উপর একটু জল থাকে। ইহাতে সব সময়ই বাষ্প সংপৃক্ত থাকিবে। দুই নলে পারদস্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য—সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ। D পাত্রের জলে অল্প বরফ মিশাও এবং জল নাড়িতে থাক। D পাত্রের জলের যেমন থার্মমিটারে উষ্ণতা কমিতে থাকে তেমন B নলে বেশী বাষ্প জমিয়া জল হইতে থাকে। B নলে পারদস্তম্ভের উচ্চতা বাড়িতে থাকে সুতরাং চাপ কমিতেথাকে ; ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে বাষ্পের চাপ সব সময়েই সংপৃক্ত থাকে এবং এই সংপৃক্ত চাপ উষ্ণতা হ্রাসের সঙ্গে কমে। এই চাপ নির্দিষ্ট উষ্ণতায় দুই নলে পারদস্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্যের সমান হয়। (৩২নং চিত্র।

এখন D পাত্রের জলে ষ্টীম প্রবেশ করাও। উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে বেশী জল বাষ্পীভূত হইবে এবং বাষ্পের চাপ বাড়িবে। B নলে পারদ নীচে নামিতে থাকিবে যতক্ষণ পর্যন্ত না সমস্ত জল বাষ্পীভূত হয়, ততক্ষণ বাষ্প অসংপৃক্ত হয়। আমরা পূর্বে দেখিয়াছি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ আয়তনের হ্রাস বৃদ্ধিতে পরিবর্তিত হয় না।

অতএব সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ উষ্ণতা পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে পরিবর্তিত হয় বটে কিন্তু চার্লসের নিয়ম অনুসারে হয় না। চার্লসের নিয়মের পরিবর্তনের হার অপেক্ষা বেশী হারে চাপ পরিবর্তিত হয়।

৩৩নং চিত্র

(২) অসংপৃক্ত বাষ্পের উষ্ণতা হ্রাস-বৃদ্ধি : এই যন্ত্রে A মোটা নলের সঙ্গে B মোটা নল শক্ত পুরু রবার নল C দিয়া সংযুক্ত থাকে, A নল অংশাঙ্কিত। A নলের মাথায় পর পর দুইটি প্যাঁচকল S, S^1 এবং একটি ফানেল D আছে। B নলের উপর মুখ খোলা। A নলকে একটি চওড়া E পাত্রে বসান আছে। E পাত্রের নীচের মুখের কর্ক Fএর মধ্য দিয়া A নল প্রবেশ করান আছে। T থার্মমিটার দিয়া E পাত্রের জলের উষ্ণতা দেখা যায়। A ও B নলের নিম্নাংশ ও রবার-নলটা শুষ্ক পারদে পূর্ণ আছে। E পাত্র G বন্ধনী দিয়া আটকান আছে।

E পাত্রে জল ঢাল। S, S^1 খোল। B নলকে উপরে তোল যতক্ষণ A নলের বায়ু বিতাড়িত না হয় ও খানিকটা পারদ D ফানেলে না উঠে। S S^1 বন্ধ কর। Bকে ৮৫ সেঃ মিঃ নীচে নামাও। A নলে পারদের উপর কিছু শূন্য স্থান হইবে। দুই নলে স্কেল দিয়া পারদতলের পার্থক্য মাপ। এই পার্থক্য = বায়ুমণ্ডলের চাপ = P (মনে কর)। D ফানেলে সামান্য জল রাখ। S খোল, জল দুই পাঁচকলের মাঝখানে যায়। S বন্ধ কর। S_1 খোল।

একটু জল A নলে ঢোকে ও সবটাই বাষ্পীভূত হয় কিন্তু বাষ্প অসংপৃক্ত থাকে। অসংপৃক্ত বাষ্পের চাপে A নলের পারদ নামিয়া যায়। B নলকে একটু নামাইয়া A নলের পারদের উপরের জায়গায় আয়তন একটু বাড়াও। B নলকে বন্ধনী দিয়া আটকাও। ইহাতে A নলে পারদের উপরের জায়গা অসংপৃক্ত হওয়ার সম্বন্ধে নিশ্চিত হওয়া যায়। A নলে পারদের উপর তলের অবস্থান স্থির কর। মনে কর ইহা K চিহ্নে আছে। দুই নলে পারদের পার্থক্য স্কেলে মাপ : মনে কর এই পার্থক্য $=p'$ এবং জলের উষ্ণতা $=t°$c.

$\therefore$ $t°$c উষ্ণতায় সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ $=p-p'=M$ (মনে কর)। পাত্রের জলে I নল দিয়া কিছু ষ্টীম ঢোকাও। জল নাড়িয়া উষ্ণতা স্থির হইতে দাও। A নলে পারদ নামিয়া যায় সুতরাং বাষ্পের চাপ-বৃদ্ধি হয়।

B নলকে উপরে উঠাও যতক্ষণ না A নলে পারদতল K চিহ্নে আসে। ইহাতে বাষ্পের আয়তন এক থাকে। পূর্বোক্ত উপায়ে M বাহির কর। এইরূপে $t°c$ হইতে উষ্ণতা বৃদ্ধি করিয়া বিভিন্ন উষ্ণতায় বাষ্পের চাপ লও। দেখিবে উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে দুই পারদতলের পার্থক্য কমিবে। কাজেই বাষ্পের চাপ M বাড়িবে। গণনা হইতে দেখা যায় যে চাপ-বৃদ্ধির হার চার্লস সূত্রানুসারে পরিবর্তিত হয়। $t°c$ হইতে উষ্ণতা কমাইলে চার্লস নিয়মানুসারে চাপ কমিতে থাকে যতক্ষণ পর্য্যন্ত না একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় A নলের পারদের উপরকার জায়গা প্রদত্ত বাষ্পে সংপৃক্ত হয়। তখন উষ্ণতা কমাইলে কিছু বাষ্প জল হয়, চাপ তাড়াতাড়ি কমে এবং জায়গা আনুসঙ্গিক উষ্ণতায় সংপৃক্ত থাকে। অতএব দেখা যায় **অসংপৃক্ত বাষ্প চার্লস সূত্র মানে।**

(ঙ) **সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্পের পার্থক্য :** (ক) আবদ্ধ নির্দ্দিষ্ট জায়গা নির্দ্দিষ্ট উষ্ণতায় নির্দ্দিষ্ট পরিমাণ বাষ্প ধারণ করিতে পারে। এই অবস্থায় এই স্থানকে বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত বলা হয়। সংপৃক্ত বাষ্পের চাপকে চরম বা সংপৃক্ত চাপ বলে। কোনও জায়গায় নির্দ্দিষ্ট পরিমাণের কম বাষ্প থাকিলে স্থানকে বাষ্প দ্বারা অসংপৃক্ত বলা হয়। (খ) সংপৃক্ত বাষ্প বয়েলের সূত্র মানে না অর্থাৎ নির্দ্দিষ্ট উষ্ণতায় আয়তন কমাইলে কিছু বাষ্প তরল হয়, চাপ বাড়ে না; আয়তন বাড়াইলে কিছু তরল বাষ্প হয়, চাপ কমে না সুতরাং উভয় ক্ষেত্রে

চাপ সমান থাকে। অসংপৃক্ত বাষ্প বয়েলের সূত্র মোটামুটি মানে। (গ) সংপৃক্ত বাষ্পের উষ্ণতা বাড়াইলে খানিকটা তরল বাষ্প হয়, চাপ বাড়ে। উষ্ণতা কমাইলে চাপ কমে কিন্তু এই চাপের হ্রাস-বৃদ্ধি চার্লসের নিয়মানুসারে হয় না; অসংপৃক্ত বাষ্পের উষ্ণতার হ্রাস-বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে চার্লসের নিয়মানুসারে বাষ্পের হ্রাস-বৃদ্ধি হয়। (ঘ) কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ অসংপৃক্ত বাষ্পের চাপ বাড়াইলে বা উষ্ণতা কমাইলে উহাকে সংপৃক্ত করা চলে। মোটামুটি দেখা যায় সংপৃক্ত বাষ্প গ্যাসের কোন নিয়ম মানে না, অসংপৃক্ত বাষ্প গ্যাস নিয়ম মানে। সংপৃক্ত বাষ্প সংপৃক্ত দ্রবণের সঙ্গে তুলনা করা যায়।

(চ) **ছক কাগজে এই নিয়মগুলির প্রকাশ :** সংপৃক্ত চাপের উপর উষ্ণতা ও আয়তন হ্রাস-বৃদ্ধির ফল ছক কাগজে প্রকাশ করা যায় :—(১) মনে কর OA ও OB রেখাদ্বয় পরস্পর সমকোণে অবস্থিত। OA ও OBর সমান্তরাল রেখাগুলি যথাক্রমে কোন অসংপৃক্ত বাষ্পের আয়তন ও চাপ প্রকাশ করে। OL = কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় চরম চাপ। OAএর সঙ্গে LK সমান্তরাল রেখা টান। মনে কর OM_1 = কোন পরিমাণ বাষ্পের আয়তন, M_1P_1 = ইহার চাপ। এই বাষ্পের আয়তন কমাইতে থাকিলে চাপ বাড়িতে থাকে এবং দুয়ের এই সম্পর্ক P_1PP_2 বক্ররেখা দ্বারা প্রকাশিত হয়। বাষ্পের এই বক্ররেখা গ্যাসের আনুষঙ্গিক বক্ররেখার মত। এইরূপ আয়তন-হ্রাসে চাপ-বৃদ্ধি চলিতে থাকে যতক্ষণ না আয়তন OM_2 মানে পৌছায়। আয়তন OM_2 হইলে বক্ররেখা LK রেখাকে P_2তে স্পর্শ করে অর্থাৎ এই উষ্ণতায় বাষ্পের চাপ চরম মানে পৌছায়, বাষ্প সংপৃক্ত হয়। এই অবস্থায় আয়তন আরও কমাইতে থাকিলে বাষ্প কিছু কিছু জমিতে থাকে। চাপ একই থাকে যতক্ষণ না সমস্ত বাষ্প তরল হয়। এই সম্পর্ক অনুভূমিক রেখা LP_2 দ্বারা প্রকাশিত হয়। P_1P_2L বক্ররেখাকে **সমোষ্ণ রেখা** (Isothermal line) বলে।

(২) মনে কর OA, OB রেখাদ্বয় যথাক্রমে উষ্ণতা ও চাপ প্রকাশ করে। কতকগুলি উষ্ণতার আনুষঙ্গিক সর্বোচ্চ বা সংপৃক্ত চাপ প্রকাশের জন্য OAএর উপর লম্ব রেখাগুলি টান। এই রেখাগুলির শেষ প্রান্ত একটি বক্ররেখা LP_2Kএর উপর থাকিবে। মনে কর OM_1 উষ্ণতার আনুষঙ্গিক সংপৃক্ত চাপ M_1P_1। এখন

P_1P_2 রেখা উষ্ণতা ও অসংপৃক্ত চাপের সম্পর্ক নির্ণয় করিবে। P_1P_2 রেখা বর্ধিত AO রেখাকে এমন বিন্দুতে স্পর্শ করিবে যেখানে আনুষঙ্গিক উষ্ণতা হইবে—২৭৩°C. মনে P_1P_2 রেখা LK রেখাকে P_2 বিন্দুতে স্পর্শ করে। এবং P_2 বিন্দুর আনুষঙ্গিক চাপ OM_2. যতক্ষণ পর্যন্ত উষ্ণতা OM_2তে না নামে ততক্ষণ পর্যন্ত চাপ ও উষ্ণতার সম্পর্ক P_1P_2 **সরল রেখা** দ্বারা প্রকাশিত হয়। OM_2 পর উষ্ণতা নামিলে এই সম্পর্ক বক্ররেখা P_2L দ্বারা প্রকাশিত হয়।

(ছ) বাষ্পের চাপ বায়ু বা অন্য কোন গ্যাসের চাপের উপর নির্ভর করে না (Vapour Pressure is independent of the pressure of air or any other gas) : ঘ (২) নং অনুচ্ছেদের ৩৩নং চিত্রের যন্ত্রে তিনবার চাপ দেখ : (১) প্রথমতঃ K দাগ পর্যন্ত V আয়তনের জলীয় বাষ্পের চাপ। (২) দ্বিতীয়তঃ V আয়তনের শুধু বায়ুর চাপ (৩)। তৃতীয়তঃ V আয়তনের বাষ্প ও বায়ুর মিশ্রণের চাপ : অবশ্য সব ক্ষেত্রে উষ্ণতা এক থাকিবে।

(১) S,S' দুইটি প্যাঁচকল খুলিয়া Bকে উপরে তোল। কিছুক্ষণ পর পারদ ফানেলে ঢুকিলে দুইটি প্যাঁচকল **বন্ধ কর**। Bকে নামাইয়া A নলে পারদের তলকে K চিহ্নে আন। এখন Bকে বন্ধনী দিয়া আটকাও। দুই নলে পারদের পার্থক্য পড়। মনে কর ইহা H সেঃ মিঃ (=ব্যারোমিটারের উচ্চতা)। D ফানেলে জল রাখিয়া পর্য্যায়ক্রমে প্যাঁচকল খুলিয়া ও বন্ধ করিয়া A নলে খানিকটা জল ঢোকাও। A নলে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্প পারদে চাপ দিবে। A নলে পারদ নামিয়া যাইবে। Bকে উঠাইয়া A নলের পারদতলকে Kতে লইয়া আস। দুই নলে পারদের পার্থক্য দেখ। মনে কর ইহা H^1 ∴ V আয়তনের কেবল সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ $= H - H^1 = h$ সেঃ মিঃ পারদস্তম্ভের সমান (মনে কর) অর্থাৎ বায়ুশূন্য স্থানে চাপ $= h$. সেঃ মিঃ।

(২) দুইটি প্যাঁচকল খুলিয়া Bকে উপরে তোল। A নলের বাষ্প, জল ও কিছু পারদ ফানেলে ঢুকিবে। ফানেল শুষ্ক কর। প্যাঁচকল **খোলা** রাখিয়া Bকে নামাও। অল্প বায়ু A নলে ঢুকিবে, প্যাঁচকল বন্ধ কর। Bকে আরও নামাইয়া A নলের পারদ তলকে K চিহ্নে আন। A ও B নলে পারদের

পার্থক্য পড়। মনে কর ইহা H_2 ∴ V আয়তনের কেবল বায়ুর চাপ = $H - H_2 = h_1$ সেঃ মিঃ পারদস্তম্ভের ওজন।

(৩) এবার A নলে পূর্বের ন্যায় জল ঢোকাও। এবার A নলে পারদের উপর বায়ু ও সংপৃক্ত বাষ্প চাপ দিবে। A নলের পারদকে K চিহ্নে আন। A ও B নলের পারদের পার্থক্য দেখ। মনে ইহা H_3 ∴ V আয়তনের বাষ্প ও বায়ুর সম্মিলিত চাপ $= H - H_3 = h_2$ সেঃ মিঃ (মনে কর)

গণনায় দেখা যাবে যে $h_2 = h + h_1$ অর্থাৎ নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বাষ্পের চাপ বায়ুতে যাহা থাকে শূন্য স্থানে তাহাই থাকে।

দ্রষ্টব্য ঃ বায়ুমিশ্রিত সংপৃক্ত বাষ্পের আয়তন পরিবর্তন করিলে চাপের যে পরিবর্তন হয় তাহা কেবল বায়ুর জন্যই হয়। বায়ুমিশ্রিত অসংপৃক্ত বাষ্পের আয়তন পরিবর্তন করিলে বায়ুর ও বাষ্পের উভয়েরই চাপ বয়েলের সূত্রানুসারে পরিবর্তিত হয়।

(জ) **দুইটি বাষ্পের মিলিত চাপ ফল ঃ** ৩৩নং চিত্রের যন্ত্রে প্রক্রিয়া মত A নলে পৃথকভাবে বেঞ্জিন ও জল ঢুকাইয়া K চিহ্ন পর্যন্ত আয়তনের বাষ্পের চাপ মাপ। মনে উহাবা যথাক্রমে h ও h_1। উহাদের এক সঙ্গে ঢুকাইয়া মিলিত চাপ ফল মাপ। মনে কর উহা h_2। গণনায় দেখা যায় $h_2 = h + h_1$। মনে রাখিবে দুই বাষ্পের মধ্যে কোন রাসায়নিক ক্রিয়া হয় না। পরীক্ষাগুলি একই উষ্ণতায় সম্পাদন করা দরকার।

৮৫। Daltonএর নিয়ম (Dalton's Law of Partial Pressure): উপরোক্ত পরীক্ষা হইতে Dalton নিম্নলিখিত নিয়ম আবিষ্কার করেন: (ক) কোন বাষ্পের চরম চাপ উষ্ণতার উপর নির্ভর করে। আয়তন কিংবা অন্য কোন মিশ্রিত বাষ্প বা গ্যাসের চাপের উপর নির্ভর করে না। (খ) কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় সংপৃক্ত বা অসংপৃক্ত বাষ্প ও গ্যাসের মিশ্রণের মিলিত চাপ হইবে সেই উষ্ণতায় প্রত্যেক গ্যাসের ও বাষ্পের পৃথক পৃথক চাপের যোগফল। অবশ্য বাষ্প ও গ্যাসের মধ্যে কোন রাসায়নিক ক্রিয়া হবে না। প্রথম নিয়ম সংপৃক্ত বাষ্পের ক্ষেত্রে দ্বিতীয় নিয়ম দুই ক্ষেত্রে প্রযোজ্য।

৮৬। গ্যাস ও বাষ্প ঃ যে পদার্থ সাধারণ উষ্ণতায় ও চাপে কঠিন বা তরল থাকে সেই পদার্থের গ্যাসীয় অবস্থাকে **বাষ্প** বলে, যেমন জলীয় বাষ্প। যে পদার্থ সাধারণ উষ্ণতায় ও চাপে গ্যাসীয় অবস্থায় থাকে তাহাকে **গ্যাস** বলে, যেমন অক্সিজেন, হাইড্রোজেন। আবার সাধারণ উষ্ণতায় বাষ্পের আয়তন কমাইয়া বা চাপ বাড়াইয়া বাষ্পকে তরল করা যায় কিন্তু সাধারণ উষ্ণতায় গ্যাস বয়েল সূত্র মানে।

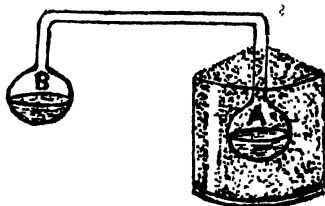
পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে প্রত্যেক বাষ্প কোন নির্দিষ্ট একটি উষ্ণতার বেশী উষ্ণতায় থাকিলে যত চাপই বাড়ান হউক না কেন বাষ্প কিছুতেই তরল হইবে না, উহার আয়তন কমিবে, উহা গ্যাসের মত বয়েল সূত্র মানিবে। কিন্তু এই উষ্ণতার নীচের উষ্ণতায় সব গ্যাসকে অধিক চাপে তরল করা যাইবে। এই নির্দিষ্ট উষ্ণতাকে **সন্ধি উষ্ণতা** (Critical Temperature) বলে। প্রত্যেক বাষ্পের সন্ধি উষ্ণতা বিভিন্ন হয়। সুতরাং গ্যাসীয় অবস্থায় সন্ধি উষ্ণতার নীচে প্রত্যেক গ্যাস বাষ্পের মত আচরণ করে এবং সন্ধি উষ্ণতার উপরে প্রত্যেক বাষ্প গ্যাসের মত আচরণ করে। সুতরাং গ্যাসের তরলীকরণে উষ্ণতা হ্রাস করিয়া সন্ধি উষ্ণতায় আনিতে হয়, তখন কেবল বেশী চাপ প্রয়োগে উহা তরলীভূত হয়। অক্সিজেন, হাইড্রোজেন ও নাইট্রোজেনের সন্ধি উষ্ণতা যথাক্রমে,— ১১৮·৮°C, —২৩৯·৯°C ও —১৪৭·১°C। সন্ধি উষ্ণতায় যে চাপে গ্যাস তরল হয় তাহাকে **সন্ধি চাপ** (Critical Pressure) বলে। সন্ধি উষ্ণতায় ও সন্ধি চাপে এক গ্রাম গ্যাসের আয়তনকে **সন্ধি আয়তন** (Critical Volume) বলে।

৮৭। বাষ্পীভবনে শৈত্য উৎপন্ন হয় ঃ তরলের বাষ্পীভবনে লীন তাপ দরকার হয়। অন্য কোন উপায়ে লীন তাপ সরবরাহ না হইলে তরল নিজ দেহ বা পাত্র বা পাত্র সংলগ্ন বায়ু বা অন্য দ্রব্য হইতে তাপ সংগ্রহ করে। ফলে ঐ সকল দ্রব্য শীতল হইয়া পড়ে। তরলের বাষ্পীভবন যত দ্রুত হয় তরলের তত বেশী তাপ হ্রাস হয়। এই নীতির পোষকতায় কতকগুলি **উদাহরণ** দেওয়া গেল :—(ক) হাতে দ্রুত উদ্বায়ী (Volatile) পদার্থ যথা ইথার, স্পিরিট, লইলে উহারা শীঘ্র শীঘ্র উপিয়া যায়। হাত হইতে তরল লীন তাপ টানিয়া লয়,

হাত খুব শীতল হয়। (খ) থার্মমিটারের কুণ্ডে ন্যাকড়া জড়াইয়া ন্যাকড়ায় ইথার ছিটাইলে থার্মমিটার দ্রুত উষ্ণতা-হ্রাস নির্দেশ করে। কুণ্ডের পারদ লীন তাপ সরবরাহ করে। পারদ সংকুচিত হইয়া নীচে নামে। (গ) গায়ে ভিজা কাপড় রাখিলে কাপড়ের জল বাষ্পীভবনের জন্য লীন তাপ দেহ হইতে টানিয়া লয়। ইহাতে হঠাৎ ঠাণ্ডা লাগিয়া স্বাস্থ্যহানি হইতে পারে। (ঘ) গায়ে ঘাম থাকিলে পাখার বাতাসে ঘাম দ্রুত বাষ্পীভবন হয় এবং এইজন্য ঘাম দেহ হইতে লীন তাপ গ্রহণ করে, ফলে দেহ ঠাণ্ডা হয়। পাখার বাতাস না থাকিলে ঘাম বাষ্পীভবন হয় বটে কিন্তু খুব ধীরে ধীরে হয়। বাষ্প যেমন গঠিত হয় পাখার বাতাসে তাহা দূরে চলিয়া যায়, ঘামের বাষ্পীভবনের হার বাড়িয়া যায়। জ্বরের সময় কপালে জলপটি বা ওডিকলন দিয়া বাতাস করিলে একই কারণে দেহের উষ্ণতা কমে। (ঙ) সছিদ্র (porous) পাত্রে (যথা মাটির কলসী বা কুজা) জল রাখিলে পাত্রের সমস্ত গাত্র হইতে সর্বদাই জল এই অতি সূক্ষ্ম ছিদ্র দিয়া চোঁয়ায় এবং বাষ্পীভূত হয়। বাষ্পীভবনের জন্য পাত্রের ভিতরের জল হইতে লীন তাপ সরবরাহ হয়। সেইজন্য ভিতরের জল খুব শীতল থাকে। কাচের বা ধাতব পাত্রে জল রাখিলে জল এইরূপ চোঁয়াইতে পারে না, কেবল পাত্রের মুখে জল বাষ্পীভূত হয়, সেইজন্য এই পাত্রের জল তত শীতল হয় না। বর্ষাকালে বাতাসে প্রচুর জলীয় বাষ্প থাকে এবং বাতাসের উষ্ণতা গ্রীষ্মকালের চেয়ে কম থাকে। এই দুই কারণে বর্ষাকালে বাতাস প্রায়ই বাষ্পে সংপৃক্ত থাকে। ইহাতে উপরোক্ত দুই প্রকার পাত্র হইতে বাষ্পীভবন কম হয় কাজেই দুই রকম পাত্রের উষ্ণতার পার্থক্য বেশী হয় না। (চ) গরম চা বা দুধ ডিসে বা থালায় রাখিলে অনেকটা ছড়াইয়া পড়ে বলিয়া শীঘ্র শীঘ্র বাষ্পীভবন হয়, ইহারা সঙ্গে সঙ্গে ঠাণ্ডাও হয়। (ছ) গরমের দিনে জানালায় ভিজা খস্‌খস্‌ টাঙ্গাইলে জল ঘরের বাতাস হইতে লীন তাপ সংগ্রহ করে। সুতরাং ঘরের বাতাস ঠাণ্ডা হয়। (জ) রাস্তায় জল দিলে খানিকটা জল নিকটবর্তি বায়ু হইতে লীন তাপ গ্রহণ করিয়া বাষ্পীভূত হয়। ফলে এই বায়ু ঠাণ্ডা হয়।

নিম্নলিখিত পরীক্ষাগুলি দ্রুত বাষ্পীভবনে শৈত্য উৎপাদনের নীতি প্রমাণ করে :—

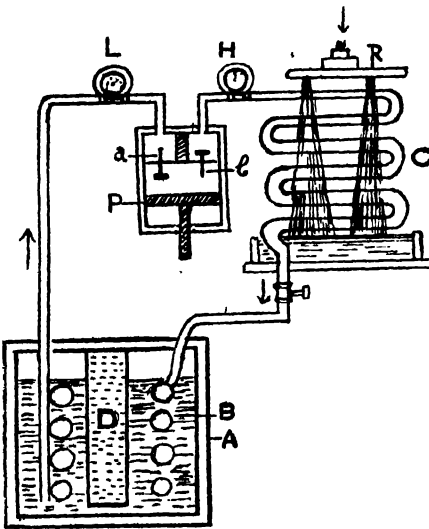
পরীক্ষা : (ক) একখণ্ড কাঠের উপর কয়েক ফোঁটা জল রাখ। জলের উপর একটি তামার পাত্র রাখ। পাত্রে ইথার লও। ইথারের মধ্য দিয়া হাঁপরের সাহায্যে জোরে বায়ু প্রবাহ চালাও। ইথার শীঘ্র শীঘ্র উপিয়া যাইবে এবং কাঠের উপর জল জমিয়া বরফ হইবে। পাত্র কাঠে আটকাইয়া যাইবে।

(খ) **Cryophorus :** এই যন্ত্রে একটি বক্র কাচ নলের দুই ধারে দুইটি কুণ্ড A ও B থাকে। একটি কুণ্ডে সামান্য জল ও জলীয় বাষ্প থাকে কিন্তু যন্ত্রে কোন বায়ু থাকে না। কুণ্ডের জলকে ফোঁটাইয়া বাষ্পের সাহায্যে যন্ত্রকে বায়ুমুক্ত করিয়া যন্ত্রকে বন্ধ করা হয়। সমস্ত জলটা B কুণ্ডে লইয়া যাও। A কুণ্ডকে হিমমিশ্রে ডুবাও। A কুণ্ডের জলীয় বাষ্প হিমমিশ্রের শৈত্যে জমিয়া যায়। B কুণ্ডের জলের উপর চাপ কমিয়া যায়। B কুণ্ডের জল দ্রুত বাষ্পীভূত হইতে থাকে। এই জল B কুণ্ডের বাকি জল হইতে লীন তাপ গ্রহণ করে B কুণ্ডের বাকি জল দ্রুত শীতল হইতে হইতে জমিয়া যায়।

৩৪নং চিত্র

(গ) Leslie**র পরীক্ষা**—একটি চওড়া (shallow) ধাতব ডিসে অল্প জল লও। অপর ডিসে খানিকটা তীব্র সালফিউরিক অম্ল (strong sulphuric acid) লও। সালফিউরিক অম্ল জলীয় বাষ্প শোষণ করে। দুইটি ডিসকে বায়ু পাম্পের আধারের (receiver) মধ্যে রাখ। পাম্প চালাইয়া জলীয় বাষ্প ও বায়ু নিষ্কাশন করিয়া ভিতরের চাপ কমাও। ডিসের জল শীঘ্রই বাষ্পীভূত হইতে থাকে। সালফিউরিক অম্ল সঙ্গে সঙ্গে বাষ্প শোষণ করিয়া লয়। সুতরাং দ্রুত বাষ্পীভবনের জন্য ডিসের বাকি জল জমিয়া যায়।

৮৮। **হিমায়ক** (Refrigerator) **:** দ্রুত বাষ্পীভবনে শৈত্যোৎপাদনের নীতির উপর এই যন্ত্রগুলি নির্মিত হয়। তরল Ammonia, Carbon Dioxide, Sulphur Dioxide প্রভৃতি দ্রুত বাষ্পীভবন করিয়া হিমায়ক প্রস্তুত করা হয়। পচনশীল দ্রব্য যথা মাংস, ফল প্রভৃতি শৈত্যাধারে (cold storage)

সংরক্ষিত করা হয়। এই উপায়ে গরম দেশে ঘরগুলিকে শীতল রাখা (air condition) হয়।

৮৯। **বরফ কল** (Ice-Machine) : এই যন্ত্রে নিম্নলিখিত অংশ থাকে ; (ক) একটি বড় A আধারে (tank) তীব্র লবণ-দ্রব (strong solution of brine) থাকে। দ্রবের মধ্যে পেঁচাল নল (coil) Bতে তরল Ammonia বা Carbon Dioxide থাকে। এই পেঁচাল নলকে **বাষ্পীকারক** (evaporator) বলে। (খ) আর একটি C পেঁচাল নলের উপর দিয়া জলস্রোত চলে। এই পেঁচাল নলকে **ঘনকারক** (condenser) বলে। (গ) D পাত্রগুলিতে জল থাকে। D পাত্র লবণ-দ্রবের মধ্যে বসান থাকে। (ঘ) পাম্প P নিষ্কাশক ও সংকোচক দুই পাম্পের কাজ করে। এই পাম্প তড়িৎ বা ষ্টীম এঞ্জিন দ্বারা চালিত হয়। পাম্পের এক দিক বাষ্পীকারক নল Bর সঙ্গে এবং অপর দিক ঘনকারক নল Cর সঙ্গে যুক্ত থাকে। C ঘনকারক নল কপাট V দিয়া বাষ্পীকারক নলের সঙ্গে যুক্ত থাকে।

৩৫নং চিত্র

ক্রিয়া : (ক) পাম্প যখন সংকোচনের কাজ করে তখন পাম্প Ammonia গ্যাসকে প্রায় ১৫৫ পাউণ্ড চাপে C নলে প্রবেশ করায়। গ্যাসের সংকোচনে তাপ উৎপন্ন হয়। R নল হইতে প্রবাহিত ঠাণ্ডা জলস্রোতে তাপ হ্রাস করান হয়। Ammonia গ্যাস অধিক চাপে A নলে তরল হয়। (খ) তরল গ্যাসকে V কপাট নিয়ন্ত্রিত করিয়া B নলে ঢুকান হয়। পাম্পকে নিষ্কাশক পাম্পরূপে চালাইয়া B নলের চাপ কমান হয়। ইহাতে তরল Ammonia খুব শীঘ্র শীঘ্র বাষ্পীভূত হয় এবং লবণ-দ্রব হইতে

লীন তাপ গ্রহণ করে। লবণ-দ্রবের দ্রুত তাপ হ্রাস হইতে থাকে। বাষ্পীভূত Ammonia গ্যাস পুনরায় পাম্প দ্বারা সংকুচিত করিয়া A নলে অধিক চাপে ঢুকান হয়। B নলে চাপ কখনই ৩৪ পাউণ্ডের বেশী উঠিতে দেওয়া হয় না। এই লবণ-দ্রবের উষ্ণতা ১৬°F নামিয়া আসে। D পাত্রের জল জমিয়া বরফ হয়।

৯০। **গ্যাসের প্রসারণে শৈত্য উৎপাদন :** কোন পাত্র হইতে অধিক চাপে সংকুচিত গ্যাস যখন খুব সূক্ষ্ম ছিদ্র দিয়া হঠাৎ বাহির হইয়া খুব প্রসারিত হয় তখন আণবিক আকর্ষণের বিরুদ্ধে গ্যাস কাজ করে বলিয়া ইহার নিজের দেহ হইতে প্রচুর তাপ গ্রহণ করিয়া অত্যন্ত শীতল হয়। এই নীতিকে Joule Thomson Effect বলে। বর্তমানে এই নীতিতে বহু গ্যাস তরল এমন কি কঠিন করা গিয়াছে।

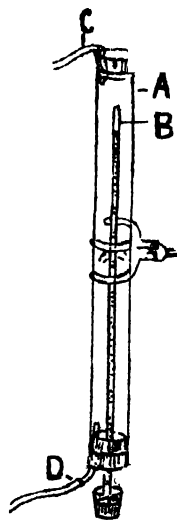
স্ফুটন (Boiling)

৯১। **স্ফুটনাঙ্ক : ফুটন্ত তরলের বাষ্পের চাপ — তরলের উপর বায়ুর নিম্নচাপ।**

পরীক্ষা : B একটি ব্যারোমিটার নলকে বিশুদ্ধ পারদে পূর্ণ কর। নলকে একটি পারদপূর্ণ পাত্রে উল্টাইয়া রাখ। B নলকে একটি A মোটা নলের মধ্যে বসাও। মোটা নলের দুই মুখে কর্ক দেওয়া আছে। বাঁকা পিপেট দিয়া B নলে খানিকটা জল প্রবেশ করাও। এখন মোটা নলের ভিতর বয়লার হইতে C নল দিয়া ষ্টীম প্রবেশ করাও এবং D নল দিয়া তাহাকে বাহির হইতে দাও। B নলের ভিতরকার জল ক্রমশঃ বাষ্পীভূত হইবে, ভিতরে চাপ বাড়িবে, পারদস্তম্ভ নামিতে থাকিবে। যদি B নলে অধিক জল থাকে তবে দেখা যাইবে যে পারদস্তম্ভ স্থির অবস্থানে পৌঁছিলে নলের পারদ ও পাত্রের পারদ একই তলে থাকিবে। অর্থাৎ ভিতরে পারদের উপর বাষ্পের চাপ ও বাহিরে পারদের উপর বায়ুর চাপ একই হইবে। পরীক্ষা হইতে প্রমাণ হয় যে যে উষ্ণতায় কোন তরল হইতে উৎপন্ন বাষ্পের সংপৃক্ত চাপ ও তরলের উপর বায়ুর চাপ সমান হইবে সেই উষ্ণতায় তরল ফুটিবে

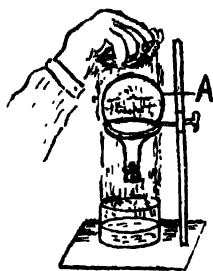
C
A
B
D

৩৬নং চিত্র

স্ফুটনাঙ্কে বাষ্পের সর্বোচ্চ চাপ — তরলের উপর বায়ুর চাপ।

৯২। **স্ফুটনের সর্ত ঃ** যতক্ষণ বাষ্পের চাপ তরলের উপরে বায়ুর নিম্ন চাপ অপেক্ষা কম থাকে ততক্ষণ বাষ্পীভবন হয়। যখন বাষ্পের চাপ তরলের উপরে বায়ুর চাপের সমান হয় তখন স্ফুটন আরম্ভ হয়। অতএব দেখা যায় তরলের উপরে চাপের পরিবর্তন হয়। জলের স্ফুটনাঙ্ক ১০০°C যখন বায়ুর চাপ ৭৬০ মি. মিঃ, আবার বায়ুর চাপ ৫২৫.৫ মিঃ মি. হইলে স্ফুটনাঙ্ক ৯০°C হয়।

৯৩। স্ফুটনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব ঃ

নিয়ম ঃ—চাপ কমাইলে স্ফুটনাঙ্ক কমে, চাপ বাড়াইলে স্ফুটনাঙ্ক বাড়ে।

(ক) **চাপ-হ্রাসে স্ফুটনাঙ্কের হ্রাস ঃ** Franklinএর **পরীক্ষা ঃ** একটি গোলাকার তলাবিশিষ্ট শক্ত কাচের ফ্লাস্কের অর্ধেক জল ভর্তি কর। পাত্রকে আগুণে বসাইয়া কিছুক্ষণ জল ফুটাও যাহাতে ফ্লাস্কের সব বায়ু ষ্টীম দ্বারা বিতারিত হয়। আগুণ সরাইয়াই ফ্লাস্কের মুখে ভালভাবে কর্ক আঁটিয়া দাও। ফ্লাস্ককে উল্‌টাইয়া একটি আংটার উপর রাখ। জলের উপরের জায়গা জলীয় বাষ্পে সংপৃক্ত থাকে। এই বাষ্পই জলের উপরে চাপ দেয়। স্ফুটন বন্ধ হইলে ফ্লাস্কের তলদেশে ঠাণ্ডা জল ঢাল। স্ফুটন আবার আরম্ভ হইবে যদিও জলের উষ্ণতা পূর্বাপেক্ষা কম।

৩৭নং চিত্র

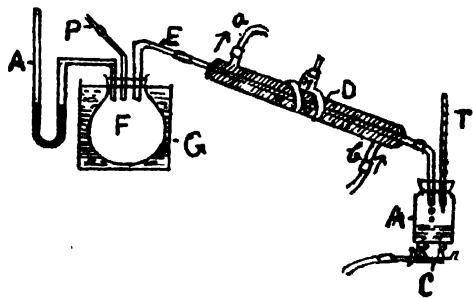
ব্যাখ্যা ঃ ফ্লাস্কে ঠাণ্ডা জল ঢালিলে ভিতরে জলীয় বাষ্প শীতল হইয়া তরল হয়। জলের উপরের বাষ্পের চাপ কমিয়া যায় এবং সঙ্গে সঙ্গে স্ফুটনাঙ্ক কমিয়া যায়। যদিও জলের এই উষ্ণতা সাধারণ স্ফুটনাঙ্ক ১০০°Cএর কম হয় তবুও কম চাপের আনুষঙ্গিক স্ফুটনাঙ্কের চেয়ে বেশী থাকে সেইজন্য জল আবার ফুটিতে থাকে অর্থাৎ চাপ-হ্রাসের সঙ্গে স্ফুটনাঙ্ক কমিয়া যায়।

(খ) **বর্ধিত চাপে স্ফুটনাঙ্ক বাড়ে ঃ** Papin's Digester : একটি শক্ত ধাতব বদ্ধ পাত্রে একটি ঢাকনা, চাপ-মাপক (pressure gauge) ও নিরাপদ-কপাট (safety valve) জোড়া থাকে। ঢাকনার মধ্য দিয়া একটি

থার্মমিটার পাত্রের মধ্যে ঢোকান থাকে। পাত্রে জল থাকে। পাত্রকে উষ্ণ করিলে বদ্ধ পাত্রের মধ্যে জলের উপর বাষ্পের চাপ বাড়িতে থাকে। যে উষ্ণতায় বাষ্পের সর্বোচ্চ চাপ জলেরর উপরে চাপের সমান হয় সেই উষ্ণতায় জল ফুটিবে। ৭৬০×২ মিঃ মিঃ বায়ুর চাপে জল ১২০°C উষ্ণতায় ফুটে। উচ্চ পর্বতে স্ফুটনাঙ্ক কমিয়া যায়, সুতরাং খোলা পাত্রে রান্না করিলে কোন জিনিষ সিদ্ধ হয় না। সেইজন্য উচ্চ পর্বতে এই যন্ত্রে কিংবা কোন বদ্ধ পাত্রে রান্না করা হয়।

(গ) যে কোন চাপে স্ফুটনাঙ্ক-নির্ণয় বা যে কোন উষ্ণতায় সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ-নির্ণয়ঃ Regnault এর **পরীক্ষা**ঃ—

যন্ত্রঃ বায়ুনিরুদ্ধ তামার স্ফুটন পাত্র (boiler)-Aর অর্ধেকটায় তরল রাখ। A পাত্রের মুখে কর্ক লাগাও। কর্কের একটি ছিদ্র দিয়া T সুবেদী (sensitive) থার্মমিটার ও আর একটি ছিদ্র দিয়া D শীতকের (Liebig's Condenser) একটি মুখ ঢোকাও। T থার্মমিটারের কুণ্ড তরলের উপরে রাখ। বর্তুলাকার F পাত্রে (air reservoir) শুধু বায়ু থাকে। F পাত্রের মুখের কর্কের তিনটি ছিদ্র দিয়া পর পর A' চাপ-মাপকের (manometer), P পাম্পের ও D শীতকের অপর মুখ Eএর সঙ্গে যোগ করা থাকে। এইরূপে সমস্ত যন্ত্রটি বায়ু-নিরুদ্ধ করা থাকে। F পাত্রকে সর্বদাই নির্দিষ্ট উষ্ণতার জলগাহের (water bath) মধ্যে রাখ। পাম্পের সাহায্যে যন্ত্রের বায়ুর চাপ বাড়ান বা কমান হয়।

ক্রিয়াঃ (১) বায়ুমণ্ডলের চাপের চেয়ে কম চাপঃ পাম্প দিয়া বায়ু নিষ্কাশন করিয়া F পাত্রের বায়ুর চাপ কোন **নির্দিষ্ট মানে** আন। স্ফুটন পাত্রের তরলকে C আংটি-দীপ (ring burner) দিয়া গরম কর। তরল তাপে বাষ্প হইবে। কিন্তু এই সমস্ত বাষ্প শীতকের মধ্যে তরল হইয়া A পাত্রে পুনরায় ফিরিয়া আসিবে। সুতরাং এই বাষ্পের জন্য

৩৮নং চিত্র

তরলের উপর চাপের কোন তারতম্য হইবে না। F পাত্রের বায়ুর যে চাপ থাকে সেই চাপই তরলের উপর পড়ে, আবার বাষ্প জল হইয়া স্ফুটন পাত্রে ফিরিয়া আসায় Aতে জলের অভাব হয় না। বায়ুর এই চাপের মাপ A′ দিয়া মাপা হয়। A′ হইতে চাপের মাপ পড়। এই নির্দিষ্ট চাপে যখন তরল ফুটিতে থাকিবে তখন থার্মমিটারে পারদ একটি স্থির জায়গায় আসিবে। থার্মমিটারের এই স্থির উষ্ণতা পড়। মনে কর, চাপ-মাপকে এই চাপ $= p$, উষ্ণতা $= t°C$। অর্থাৎ p চাপে তরলের স্ফুটনাঙ্ক $t°C$। তরলের স্ফুটনের সময় বাষ্পের চাপ = তরলের উপর বায়ুর চাপ $= p$। এইরূপে পাম্প দিয়া বায়ু নিষ্কাশন করিয়া যন্ত্রে বায়ুর চাপ কমাইয়া বিভিন্ন মানের চাপে উপরোক্ত নিয়মে স্ফুটনাঙ্ক বাহির কর। দেখিবে প্রত্যেক বার চাপ বা উষ্ণতা পঠনের সময় চাপমাপকে ও থার্মমিটারে পারদ কিছুক্ষণ এক জায়গায় স্থির থাকে। গণনায় দেখিবে **চাপ-হ্রাসের সঙ্গে সঙ্গে স্ফুটনাঙ্ক কমিয়া যায়।** এই চাপ হইল বিভিন্ন উষ্ণতায় সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ।

(২) **বায়ুমণ্ডলের চাপের বেশী চাপঃ** পাম্প দিয়া F পাত্রে বায়ু ঢুকাইয়া পাত্রে বায়ুর চাপ ক্রমশঃ বাড়াও। কয়েকবার চাপের মান নির্দিষ্ট রাখিয়া তরলের স্ফুটন আরম্ভ হইলে স্ফুটনাঙ্ক লও। দেখিবে যে **চাপ-বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে স্ফুটনাঙ্ক বাড়িয়া যায়।**

এই পরীক্ষা হইতে আমরা তিনটি বিষয় নির্ণয় করিতে পারি :—

(ক) প্রত্যক্ষভাবে যে কোন চাপে স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয় করা যায়। (খ) পরোক্ষ-ভাবে বিভিন্ন উষ্ণতায় তরলের সংপৃক্ত বাষ্পের সর্বোচ্চ চাপ নির্ণয় করা যায় কারণ স্ফুটনাঙ্কে তরলের সংপৃক্ত বাষ্পের সর্বোচ্চ চাপ = তরলের উপর বায়ুর চাপ। (গ) যে কোন তরলকে যে কোন উষ্ণতায় ফুটান যায়।

Regnault এই পরীক্ষা দ্বারা জলীয় বাষ্পের ৫০°C হইতে ২৩০°C পর্যন্ত সর্বোচ্চ চাপ নির্ভুলভাবে ও অতি সতর্কতার সহিত নির্ণয় করেন। ২৩০°C উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের চাপ = ২৭·৫ গুণ বায়ুমণ্ডলের চাপ। তিনি পরীক্ষার ফলগুলি একটি তালিকায় (table) লিপিবদ্ধ করেন। ইহাকে **Regnault তালিকা** বলে। ইহাকে সকলে প্রামাণ্য বলিয়া গ্রহণ করিয়াছেন। সমুদ্রতলে

বায়ুমণ্ডলের চাপ বেশী বলিয়া স্ফুটনাঙ্কও উচ্চতম হয়। দার্জিলিংএ (৭০০০') জলের স্ফুটনাঙ্ক ৯৪°C। প্রত্যেক ৯৬০ ফুট উচ্চতার পার্থক্যে বা ২৬'৪ মিঃ মিঃ ব্যারোমিটার চাপের পার্থক্যে জলের স্ফুটনাঙ্কের পার্থক্য হয় ১°C.

কৃত্রিম রেশম, কাগজের মণ্ড প্রস্তুতে অধিক চাপে তরল ফুটান দরকার হয়। জমাট দুধ প্রস্তুতে, চিনি পরিষ্কারে কম চাপে তরল ফুটান দরকার হয়।

৯৪। বিভিন্ন উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের সর্বোচ্চ চাপ নির্ণয়ঃ (ক) **Regnault পদ্ধতি** (O°C হইতে ১০০°C): ৩২নং চিত্রে B নলে বাঁকা পিপেট দিয়া উপযুক্ত পরিমাণ জল ঢুকাইয়া D নলে ষ্টীম প্রবেশ করাইয়া বিভিন্ন উষ্ণতায় A ও B নলের পারদতলের পার্থক্য দেখ। এই পার্থক্য = জলীয় বাষ্পের সর্বোচ্চ চাপ।

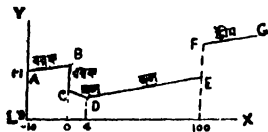
(খ) **Gay Lussac's যন্ত্র** (O°C ডিগ্রির নিম্ন উষ্ণতায়) ৩০নং চিত্রের মত পারদপূর্ণ A ও B নল লও। মনে কর B নলের উপর অংশ বাঁকিয়া একটি কুণ্ডে শেষ হইয়াছে। কুণ্ডে জল লও। মনে কর কুণ্ডকে হিমমিশ্রে রাখিয়া বিভিন্ন উষ্ণতায় দুই নলে পারদতলের পার্থক্য দেখ।

(গ) ৩৮নং চিত্রের যন্ত্র ও নিয়মে ১০০°Cর বেশী উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের চাপ নির্ণয় করিতে হয়।

৯৫। দ্রবের (Solution) স্ফুটনাঙ্কঃ (ক) বিশুদ্ধ দ্রাবকের (solvent) স্ফুটনাঙ্ক অপেক্ষা দ্রবের স্ফুটনাঙ্ক সর্বদাই বেশী হয়। (খ) স্ফুটনাঙ্কের বৃদ্ধি দ্রবণে দ্রাবকের পরিমাণের অনুপাতিক হয়। কোন তরলের বিশুদ্ধতা স্ফুটনাঙ্ক দিয়া নির্ণয় করা হয়।

৯৬। স্ফুটনের নিয়ম (Laws of Ebullition): (ক) প্রত্যেক তরলের নির্দিষ্ট চাপে নির্দিষ্ট স্ফুটনাঙ্ক থাকে। চাপের হ্রাস-বৃদ্ধিতে স্ফুটনাঙ্কের হ্রাস-বৃদ্ধি হয়। (খ) স্ফুটনাঙ্কে বাষ্পের সর্বোচ্চ চাপ = তরলের উপর বায়ুমণ্ডলের চাপ। (গ) স্ফুটনের সময় স্ফুটনাঙ্ক এক থাকে যদি চাপ এক থাকে। (ঘ) এক গ্রাম তরল একই উষ্ণতায় বাষ্পীভূত হইতে নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ গ্রহণ করে।

৯৭। জলের অবস্থা-পরিবর্তনে আয়তন-পরিবর্তনঃ −১০°C হইতে ১০০C পর্যন্ত উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে জলের আয়তন-বৃদ্ধি ৭১নং চিত্রে

দেখান হইয়াছে। ছকে LX রেখা উষ্ণতা প্রকাশ করে এবং LY রেখা আয়তন প্রকাশ করে, তবে কোন স্কেল অনুযায়ী নহে। ছকের AB অংশ বরফের −১০°C হইতে O°C পর্যন্ত আয়তন-বৃদ্ধি প্রকাশ করে। BC অংশ O°C উষ্ণতায় বরফের গলনের সময় আয়তন-হ্রাস প্রকাশ করে। CD অংশ (বরফ গলা) জলের O°C হইতে ৪°C পর্যন্ত আয়তন-হ্রাস প্রকাশ করে। DE অংশ ৪°C হইতে ১০০°C পর্যন্ত আয়তন বৃদ্ধি প্রকাশ করে। EF অংশ ১০০°C উষ্ণতায় জল হইতে ১০০° বাষ্পে আয়তন-বৃদ্ধি প্রকাশ করে। এক ঘন সেঃ মিঃ ১০০°C উষ্ণতার জল ১০০°C বাষ্পে

৩৯নং চিত্র

পরিণত হইলে বাষ্পের আয়তন ১৬৭০ গুণ হয়। Fএর পরের অংশ আয়তন বৃদ্ধি প্রকাশ করে। জল হইতে ষ্টীমে পরিণত হইলে খুব বেশী আয়তন বৃদ্ধি হয় অর্থাৎ জলের অণুগুলিকে প্রসারিত হইয়া বায়ুর বিরুদ্ধে কার্য করে। ইহাতে প্রচুর শক্তির দরকার হয়। এই শক্তি তাপশক্তি হইতে সরবরাহ হয় সেইজন্য ষ্টীমের লীনতাপ খুব বেশী।

৯৮। উচ্চে জল ফুটাইতে কম তাপ দরকার হয় কেন? দুইটি কারণে ইহা হয়ঃ (১) উচ্চস্থানে বায়ুর চাপ কম। সুতরাং জলীয় বাষ্পের উপর বায়ুর চাপও কম হয় সেইজন্য জলের স্ফুটনাঙ্ক কম হয়। অতএব মনে কর m ভরের t°C উষ্ণতার জলের স্ফুটনাঙ্ক দার্জিলিংএ $t_1°C$ ও কলিকাতায় $t_2°C$ হইল ∴ দার্জিলিংএ জল ফুটাইতে প্রয়োজনীয় তাপ $= m \times (t_1 - t)$ এবং কলিকাতায় প্রয়োজনীয় তাপ $= m \times (t_2 - t)$ আবার $t_2 > t_1$ ∴ কলিকাতা অপেক্ষা দার্জিলিংএ তাপ কম হইবে। (২) জল ফুটিয়া ষ্টীম হইবার সময় যত স্ফুটনাঙ্ক বেশী হইবে তত লীনতাপ বেশী দরকার হইবে।

৯৯। স্ফুটনাঙ্ক দ্বারা উচ্চতা নির্ণয়ঃ মনে কর কোন পর্বতের পাদদেশ A হইতে চূড়া B পর্যন্ত উচ্চতা H সেঃ মিঃ নির্ণয় করিতে হইবে। এখন তিনটি প্রক্রিয়ার সাহায্যে উচ্চতা নির্ণয় করা হয়ঃ—(ক) Hypsometer নামক যন্ত্র (৬ ও অনুচ্ছেদ) দিয়া প্রথমে জলের স্ফুটনাঙ্ক A ও Bতে নির্ণয় করিতে

হইবে। (খ) Regnaultএর তালিকা দেখিয়া স্ফুটনাঙ্কের আনুসঙ্গিক সংপৃক্ত বাষ্পের সর্বোচ্চ তাপ বাহির করিতে হইবে। মনে কর A ও Bতে এই চাপ যথাক্রমে P_1 সেঃ মিঃ ও P_2 সেঃ মিঃ। (গ) সুতরাং স্ফুটনের (খ) নিয়মানুসারে A ও Bতে বায়ুমণ্ডলের চাপ হয় P_1 ও P_2. (ঘ) এখন A ও B স্থানের বায়ুমণ্ডলের চাপের পার্থক্য $= P_1 - P_2 =$ একবর্গ সেন্টিমিটার ক্ষেত্রফল ও H সেঃ মিঃ উচ্চতা বিশিষ্ট বায়ুস্তম্ভের ওজন $= H$ ঘন সেঃ মিঃ বায়ুস্তম্ভের ওজন।

A ও B স্থানের বায়ুর চাপ ও উষ্ণতা এক নহে কিন্তু ইহাদের পার্থক্য সামান্য বলিয়া দুই স্থানের বায়ুর গড় চাপ ও উষ্ণতাকে H ঘন সেঃ মিঃ বায়ুস্তম্ভের চাপ ও উষ্ণতা ধরা হয়।

মনে কর A ও B স্থানের বায়ুর উষ্ণতা যথাক্রমে $t_1°c$ ও $t_2°c$

$\therefore$ H ঘঃ সেঃ মিঃ বায়ুস্তম্ভের উষ্ণতা = A ও B স্থানের গড় উষ্ণতা $= \frac{t_1 + t_2}{2} = t°C$

$\therefore$ „ „ „ „ „ চাপ = „ „ „ গড় চাপ $= \frac{P_1 + P_2}{2} = P$

এখানে আমরা H ঘঃ সেঃ মিঃ বায়ুকে P চাপে ও t উষ্ণতায় পাই।

$\therefore$ বয়েল ও চার্লস সূত্রানুসারে $\frac{PH}{273+t} = \frac{76 \times V°}{273}$ যেখানে V° = সাধারণ উষ্ণতায় ও চাপে H ঘন সেঃ মিঃ বায়ুস্তম্ভের আয়তন)

$$\therefore \quad V° = \frac{PH}{273+t} \times \frac{273}{76} \text{ ঘন সেঃ মিঃ}$$

$$\therefore \quad V° \text{ ঘঃ সেঃ মিঃ বায়ুর ওজন} = V° \times \rho \times g = \frac{PH}{273+t} \times \frac{273}{76} \times {\cdot}001293 \times 981$$

(সাধারণ উষ্ণতায় ও চাপে বায়ুর ঘনাঙ্ক = 001293)

অন্য উপায়ে এই বায়ুস্তম্ভের ওজন $= (P_1 - P_2) \times 13{\cdot}6 \times 981$ কারণ এক ঘন ফুট পারদের ওজন = 13·6

$$\therefore \quad H = \frac{(P_1 - P_2) \times 13{\cdot}6 \times (273+t) \times 76}{P \times 273 + 001293} \text{ সেঃ মিঃ} \cdots (8২)$$

প্রশ্ন

1. Explain and experimentally prove the phenomenon of regelation (C. U. 1940). Two pieces of ice pressed together form one mass. Explain. (C. U. 1931, '36, '46 D. U. 1939). A copper wire with heavy weights at its ends cuts through a block of ice while a piece of twine will not. Explain this.

2. Why would the height of water in a vessel containing ice-cold water and a lump of ice floating on it be unaffected when ice melts ? (C. U. 1933)

3. Explain why a mixture of ice and salt produces a very low temperature. (C. U. 1936).

4. Explain the condition that will favour the evaporation of a liquid. (C. U. 1946).

5. Explain the cooling effect of a (a) fan, (b) a wet grass screen (c) an earthen pitcher full of water. (C. U. 1911, '13, '20)

6. Distinguish between boiling and evaporation. What conditions determine whether a liquid will boil or evaporate (C. U. 1926, '29, '41 ; P. U. 1928, D. U. 1931).

7. Distinguish between Saturated and Unsaturated Vapour. (C. U. 1924, '29, '32, '41, '45, '47. D. U. 1931. A. U. 1923. P. U. 1936).

How would you find out whether the space is saturated or not ? (C. U. 1923, '24, '29, '32 ; P. U. 1923, '25, '27. D. U. 1931).

8. How would you show experimentally that the vapour pressure is independent of the pressure of air present. (C. U. 1945)

9. Distinguish between a vapour and a gas (C. U. 1927, D. U. 1930. P. U. 1926).

10. What is meant by maximum pressure of water vapour ? Explain how the maximum pressure or tension of aqueous vapour is determined at temperatures below and above the normal boiling point of water. (C. U. 1916. '20, '32, '36, '47. D. U. 1931. P. U. 1922).

11. Describe suitable experiments to show that water can be made to boil at temperatures greater and less than 100°C. (C.U.1930). Define the boiling point of a liquid.

12. Explain how the height of a mountain can be determined

experimentally by finding the boiling point of water at the top and the bottom. (C. U. 1914, '24, '25, '28).

13. Show graphically the change of volume of a mass of ice at $-10°C$ until it becomes steam. Give reasons for this (C. U. 1922)

14. Explain (a) why it is difficult to cook food at high altitude (P. U. 1919), (*b*) why it is unwise to sit in a draught with wet clothes on (C. U. 1936), (*c*) why air is cooler when the streets have been watered. (C. U. 1936), (d) why blowing on a hot liquid helps to cool it, (e) why it takes less heat to boil water at Darjeeling than at Calcutta, the water being initially at the same temperature.

15. Into the Torricellian vacuum of a borometer, water is introduced drop by drop till some water is left over. From the depression of the mercury column it is possible to determine the temperature of the room. How ? (C. U. 1913, '20).

উ :—পারদস্তম্ভের অবনতি দেখিয়া ঘরের উষ্ণতায় বায়ুর সর্বোচ্চ চাপ নির্ণয় কর। Regnault তালিকা দেখিয়া এই চাপের আনুসঙ্গিক উষ্ণতা বাহির কর। ইহাই ঘরের উষ্ণতা।

16. Into a cylinder exhausted of air and provided with a piston there is introduced just enough water to saturate the space at 20°C. Describe what happens under the following conditions :

(a) The volume of the space is increased by pulling up the piston.

(b) The volume is diminished by pushing the piston down.

(c) The volume remaining as at first, the temperature is increased to 50°C.

(d) The temperature falls to 10°C. (C. U. 1910, '23, '24.)

হাইগ্রোমিতি (Hygrometry)

১০০। **বায়ুতে জলীয় বাষ্প :** সমুদ্র, নদী, হ্রদ, পুকুর প্রভৃতি জলাশয়ের উপরতল হইতে সর্বদাই জল বাষ্পীভূত হইয়া বায়ুতে মিশিতেছে। এই জলীয় বাষ্পের প্রধান অংশ সূর্যকিরণে সমুদ্র জল হইতে বাষ্পীভূত হইয়া গঠিত হয়। গাছের পাতা হইতে বিশোষণ ক্রিয়ায় (transpiration) যথেষ্ট

জলীয় বাষ্প বায়ুতে মিশে। সেইজন্য বায়ুতে সব সময়েই কিছু না কিছু জলীয় বর্তমান থাকে। বায়ুস্থ জলীয় বাষ্প হইতে মেঘ, কুয়াসা, শিশির, তুহিন, প্রভৃতি গঠিত হয়। বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ নানা কারণে পরিবর্তিত হয়। যে বিষয়ে বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ সম্বন্ধে আলোচনা করে তাহাকে **হাইগ্রোমিতি** বলে।

১০১। বায়ুতে জলীয় বাষ্পের অস্তিত্বের প্রমাণ ও শিশিরাঙ্ক :

পরীক্ষা : (ক) একটি গ্লাসে হিম-শীতল (ice cold) জল ঢাল। গ্লাসের বাহিরের গায়ে প্রথমে সাদা ধোঁয়ার বা মেঘের মত একটি আবরণ দেখিতে পাইবে, কিছু পরে জলবিন্দু দেখিতে পাইবে। কেন ?

জলীয় বাষ্প অদৃশ্য কিন্তু ঐ বাষ্প ঠাণ্ডায় জমিলে প্রথমে ভাসমান কণায় পরিণত হয়। এই কণাগুলিকে ধোঁয়ার মত দেখায়। এই কণাগুলি একত্রিত হইলে জলবিন্দুতে পরিণত হয়। সাধারণ অবস্থায় বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকে (মনে কর উহা m গ্রাম) তাহাতে বায়ু সংপৃক্ত হয় না অর্থাৎ সেই উষ্ণতায় বায়ু যতটা জলীয় বাষ্প ধারণ করিতে পারে তার চেয়ে কম পরিমাণ বাষ্প বায়ুতে থাকে এবং সেই উষ্ণতায় সংপৃক্ত বাষ্পের চাপের চেয়ে প্রকৃত বিদ্যমান বাষ্পের চাপ কম থাকে। আমরা জানি বায়ুর বাষ্প ধারণার ক্ষমতা উষ্ণতার সঙ্গে কমে। গ্লাসে শীতল জল ঢালিয়া গ্লাসের কাছাকাছি থার্মমিটার ধরিলে দেখিবে শীতল গ্লাসের চারিপাশের খোলা জায়গায় বায়ুর উষ্ণতা কমিতে থাকে। সুতরাং এই বায়ুর আয়তন কমে এবং নিকটবর্তি জায়গা হইতে টাট্‌কা হাল্কা বায়ু এই স্থান দখল করে। সুতরাং বায়ুর চাপ কমে না, যদিও আয়তন কমে। এই অসংপৃক্ত বাষ্প গ্যাসের ন্যায় Charles সূত্র মানিয়া চলে। সেইজন্য এই জায়গার উষ্ণতা-হ্রাসের সঙ্গে সঙ্গে বাষ্পের চাপ কমে না এবং বাষ্পের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়। এই অসংপৃক্ত বায়ুর উষ্ণতা কমিতে কমিতে এমন এক উষ্ণতায় আসে যে যে উষ্ণতায় বায়ু প্রকৃত বিদ্যমান পূর্বোক্ত m গ্রাম বাষ্পের দ্বারা ঠিক সংপৃক্ত হয় এবং এই নির্দিষ্ট কম উষ্ণতায় সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ প্রকৃত বিদ্যমান বাষ্পের চাপের সমান হয়। এই উষ্ণতার নীচে আরও একটু উষ্ণতা কমিলে সংপৃক্ত বাষ্প গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে না, অর্থাৎ চাপ কমে

না, কিছু বাষ্প জমিয়া যায় এবং গ্লাসের গায়ে ধোঁয়ার মত শিশির দেখা যায়। এই উষ্ণতাকে **শিশিরাঙ্ক** (Dew Point) বলে। অতএব যে উষ্ণতায় কোন নির্দিষ্ট ভরের বায়ু উহাতে প্রকৃত বিদ্যমান জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হয় তাহাকে সেই অবস্থায় বায়ুর **শিশিরাঙ্ক** বলে। ∴ শিশিরাঙ্কে বাষ্পের সর্বোচ্চ চাপ = আলোচ্য অবস্থায় বায়ুতে প্রকৃত বিদ্যমান বাষ্পের চাপ।

(খ) একই কারণে এক চাঙড়া বরফের চারিপাশের বায়ুর উষ্ণতা শিশিরাঙ্কে নীচে নামিয়া যায়। বায়ুস্থ জলীয় বাষ্প জমিয়া বরফের চারিপাশে কুয়াশার সৃষ্টি করে।

"বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা শতকরা ৬০ এবং ইহার শিশিরাঙ্ক ২৫°C" — ইহার অর্থ যে এই বায়ুকে সংপৃক্ত করিতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প দরকার তাহার তুলনায় শতকরা ৬০ ভাগ জলীয় বাষ্প বায়ুতে আছে। বায়ুর উষ্ণতা ২৫°Cর বেশী আছে। যদি বায়ুকে শীতল করিয়া ২৫°Cতে নামান যায় তবে বায়ুতে বর্তমান জলীয় বাষ্প ঐ বায়ুকে ২৫°Cতে সংপৃক্ত করিবে।

১০২। **আর্দ্রতা** (Humidity): আর্দ্রতা আমাদিগকে বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বলিয়া দেয়। ইহা দুই প্রকারে প্রকাশিত হয়:—

(ক) একটি নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের প্রকৃত পরিমাণকে **চরম আর্দ্রতা** (Absolute Humidity) বলে। সাধারণতঃ ইহার পরিমাণ প্রতি ঘন মিটারে গ্রামের সংখ্যা দ্বারা প্রকাশিত হয়।

(খ) **আপেক্ষিক আর্দ্রতা** (Relative Humidity): যে কোন উষ্ণতায় নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে প্রকৃত জলীয় বাষ্পের ভরের সহিত সেই উষ্ণতায় সেই বায়ুকে সংপৃক্ত করিবার প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পে ভরের যে অনুপাত তাহাকে **আপেক্ষিক আর্দ্রতা** বলে। অতএব আপেক্ষিক আর্দ্রতা বায়ুর সংপৃক্ততার মাত্রা (degree of saturation) নির্ণয় করে।

অতএব, আপেক্ষিক আর্দ্রতা

$$= \frac{t°C \text{ উষ্ণতায় } V \text{ ঘঃ সেঃ মিঃ বায়ুতে বিদ্যমান জলীয় বাষ্পের ভর}}{t°C \text{ উষ্ণতায় } V \text{ ঘঃ সেঃ মিঃ বায়ুকে সংপৃক্ত করিবার প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের ভর}}$$

(এখানে বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা = t°C)

আমরা জানি অসংপৃক্ত বাষ্প গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে এবং বয়েল সূত্র মানে। সুতরাং অসংপৃক্ত বাষ্পের ভর ও চাপ সমানুপাতিক হয়।

$$\text{আঃ আর্দ্রতা} = \frac{t°C \text{ উষ্ণতায় অসংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{t°C \text{ উষ্ণতায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}$$

$$= \frac{\text{শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{t°C \text{ উষ্ণতায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}} = \frac{f}{F} \text{(মনেকর)}$$

কারণ $t°C$ উষ্ণতায় বায়ুতে যে জলীয় বাষ্প থাকে তাহা বায়ুকে সংপৃক্ত না করিলে বায়ুর উষ্ণতা কমাইয়া শিশিরাঙ্কে লইয়া আসিলে সেই পরিমাণ বাষ্পই বায়ুকে সংপৃক্ত করিবে।

ইহাই আপেক্ষিক আর্দ্রতার সংগা হইলেও সাধারণতঃ আপেক্ষিক আর্দ্রতা বায়ুর সংপৃক্ততার শতকরা হিসাবে প্রকাশ করা হয় :—

$$\text{আঃ আর্দ্রতা} = \frac{\text{শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত বায়ুর চাপ} \times ১০০}{t°C \text{ উষ্ণতায় সপৃক্ত বায়ুর চাপ}} \text{ শতকরা} = \frac{f}{F} \times ১০০\%$$

অঙ্ক : The dew point is 10°C while temperature of air is 16°C. Find the relative humidity.

Regnault তালিকা হইতে, শিশিরাঙ্কে (১০°C) সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ = ৯·১৭ মিঃ মিঃ এবং ১৬°Cতে সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ = ১৩·৫৪ মিঃ মিঃ

$$\therefore \text{ আঃ আর্দ্রতা} = \frac{৯·১৭}{১৩·৫৪} = ·৬৭৭ \text{ বা } ৬৭·৭\%.$$

১০৩। বায়ুর শুষ্কতা ও আর্দ্রতা : আমাদের বায়ুর আর্দ্রতা বা শুষ্কতার অনুভূতি বায়ুতে বিদ্যমান মোট জলীয় বাষ্পের পরিমাণের বা কতটা বাষ্প হইলে বায়ু সংপৃক্ত হইবে তাহার পরিমাণের—এই দুই পরিমাণের মধ্যে কোন একটির উপর নির্ভর করে না। ইহা এই দুই রাশির অনুপাতের অর্থাৎ বায়ুর আঃ আর্দ্রতার উপর নির্ভর করে। শীতকালে কোন একটি কুয়াসাচ্ছন্ন ঠাণ্ডা দিন অপেক্ষা গ্রীষ্মের কোন একটি উষ্ণ দিনে বায়ুতে জলীয় বাষ্প পরিমাণে বেশী থাকে তথাপি শীতের অপেক্ষা গ্রীষ্মের দিনে অমরা বেশী শুষ্ক বোধ করি কারণ গ্রীষ্মের দিনে উষ্ণতা বেশী হওয়ায় বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা বেশী থাকে।

আবার বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা যত কম হইবে অর্থাৎ সংপৃক্ত অবস্থা হইতে আদ্রর্তার যত পার্থক্য হইবে তত বাষ্পীভবনের হার দ্রুত হইবে। সেইজন্য গ্রীষ্মকালে কোন খুব আর্দ্র দিনে বা জনাকীর্ণ ঘরে বায়ুতে যথেষ্ট জলীয় বাষ্প থাকে বলিয়া আমাদের চামড়া বা ফুস্ ফুস্ হইতে বাষ্পীভবন কম হয়। ইহাতে আমরা অস্বস্থি বোধ করি।

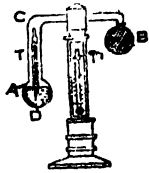
আঃ আর্দ্রতা প্রায় ১০০% হইলে আমাদের ঘাম হয়। আঃ আর্দ্রতা বেশী হইলে বৃষ্টির সম্ভাবনা থাকে। সেইজন্য আবহাওয়া অফিসে আঃ আর্দ্রতা দেখা হয়। কার্পাস প্রভৃতি কতকগুলি শিল্পে বায়ুর আর্দ্রতার জ্ঞান থাকা দরকার। আর্দ্র আবহাওয়া বস্ত্র শিল্পের অনুকূল। কতকগুলি রোগ বীজাণু আদ্র্র আবহাওয়ায় বংশ বৃদ্ধি করে। এই কারণে স্বাস্থ্য বিভাগে বায়ুর আঃ আদ্রর্তা জানা হয়। নিরাপদে বিমান চালনার জন্য বায়ুর আঃ আদ্রর্তার জ্ঞান সাহায্য করে। অনেক সময় আবহাওয়ার অবস্থা নির্ণয়ের জন্য হাওয়া অফিসে (Meteorological office) প্রত্যহ ঘণ্টায় ঘণ্টায় বায়ুর আদ্রর্তা জানা হয়।

১০৩ (ক) **ভিজা কাপড় শুকান:** ভিজা কাপড় হইতে জল-বিন্দু বাষ্পীভূত হইলে কাপড় শুকাইয়া যায়। এই বাষ্পীভবন দুইটি জিনিষের উপর নির্ভর করে, (ক) বায়ুর উষ্ণতা, (খ) বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা। কিন্তু বায়ুর উষ্ণতার চেয়ে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা এই বিষয়ে অধিকতর প্রভাবশালী। বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা যত কম হইবে বায়ু তত বেশী জলীয় বাষ্প গ্রহণ করিবে। গ্রীষ্মের দিনে বায়ুর উষ্ণতা শীতের দিনের চেয়ে বেশী থাকে বটে কিন্তু শীতকালে আপেক্ষিক আর্দ্রতা খুব কম অর্থাৎ যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প হইলে বায়ু সংপৃক্ত থাকে তাহা গ্রীষ্মকালে অপেক্ষা শীতকালে বেশী। গ্রীষ্মকালে উচ্চ উষ্ণতায় কাপড়ের জল হইতে বায়ু যে হারে বাষ্প গ্রহণ করে শীতকালে বাষ্পের বেশী চাহিদায় বায়ু কাপড়ের জল হইতে বেশী বাষ্প গ্রহণ করে। সেইজন্য শীতকালে কম উষ্ণতা হইলেও ভিজা কাপড় শীঘ্র শুকায়।

১০৪। **হাইগ্রোমিটার (Hygrometer):** এই যন্ত্র দিয়া যে কোন সময়ে যে কোন স্থানের বায়ুর আদ্রর্তা নির্ণয় করা যায়। কার্যের নীতি অনুসারে এই যন্ত্র তিন শ্রেণীর হয়; যথা (১) শিশিরাঙ্ক হাইগ্রোমিটার (Dew-point

hygrometer): (ক) Daniell ও (খ) Regnault হাইগ্রোমিটার। (২) আর্দ্র ও শুষ্ক কুণ্ড (Wet and Dry Bulb) হাইগ্রোমিটার। (৩) রাসায়নিক (Chemical) হাইগ্রোমিটার।

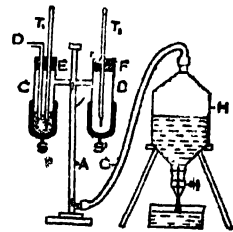
শিশিরাঙ্ক হাইগ্রোমিটার: নীতি: এই যন্ত্রে প্রথমে প্রত্যক্ষভাবে শিশিরাঙ্ক ও বায়ুর উষ্ণতা নির্ণয় করা হয়। Regnault তালিকা হইতে এই দুই উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের আনুসঙ্গিক সর্বোচ্চ চাপ বাহির করিলে ইহাদের অনুপাত হইতে আঃ আর্দ্রতা পাওয়া যায়।

(ক) **Daniell's হাইগ্রোমিটার: যন্ত্রের বিবরণ:** A ও B দুইটি কাচের কুণ্ড একটি দুইবার সমকোণে বাঁকান মোটা কাচ নল C দিয়া জোড়া থাকে। দুইটি কুণ্ড একটি লম্বদণ্ড হইতে নীচের দিকে ঝুলিয়া থাকে। A কুণ্ডে ইথার থাকে। B কুণ্ড ও C নল ইথারের বাষ্পে পূর্ণ থাকে। সমস্ত যন্ত্র হইতে বায়ু তাড়াইয়া যন্ত্রকে বন্ধ (seal) করা হয়। A কুণ্ডে একটি সুবেদী থার্মমিটার T ও দণ্ডের গায়ে একটি সাধারণ থার্মমিটার T' থাকে। A কুণ্ডের বাহিরে শিশির বিন্দু দেখিবার জন্য A কুণ্ডের গা হয় ভিতর হইতে কালো রংয়ে চক্‌চকে করা হয়, না হয় মাঝখানে একটি রূপার পাত D লাগাইয়া চক্‌চকে করা হয়। B কুণ্ড পাতলা মসলিনে ঢাকা থাকে।

৪০নং চিত্র

ক্রিয়া: (ক) যন্ত্রকে কাত করিয়া সমস্ত ইথারকে A কুণ্ডে লইয়া যাও। (খ) B কুণ্ডের মসলিনে কয়েক ফোঁটা ইথার ঢাল। ইথার খুব উদ্বায়ী (volatile) সেইজন্য B কুণ্ড হইতে লীন তাপ লইয়া এই ইথার শীঘ্র শীঘ্র বাষ্পীভূত হয়। B কুণ্ড শীঘ্র শীঘ্র শীতল হয়। এই শৈত্যে B কুণ্ডের ভিতরকার ইথার-বাষ্প ঘনীভূত হয়, বাষ্পের চাপ কমে সুতরাং A কুণ্ড হইতে আরও ইথার বাষ্পীভূত হয়। A কুণ্ডের উষ্ণতা কমে। এইরূপে B কুণ্ডে যতক্ষণ ইথার ঢালা যায় ততক্ষণ A কুণ্ডের উষ্ণতা ক্রমশঃ কমিতে থাকে। সুতরাং A কুণ্ডের চারিপাশের বায়ুর উষ্ণতা কমিতে থাকে যতক্ষণ বায়ুর জলীয় বাষ্প A কুণ্ডের গায়ে জমিয়া শিশির বিন্দুরূপে দেখা না দেয়। তখন A কুণ্ডের গা আর চক্‌চক্ করে না। যে উষ্ণতায়

ঠিক শিশির দেখা যায় তাহা T থার্মমিটারে লক্ষ্য কর। মসলিনে ইথার ঢালা বন্ধ কর। মসলিনের ইথারকে শুকাইতে দাও। পুনরায় যে উষ্ণতায় A কুণ্ডের গায়ে শিশির উপিয়া যায় তাহা লক্ষ্য কর। দুই উষ্ণতার গড় হইল শিশিরাঙ্ক। T^1 থার্মমিটার দিয়া বায়ুর উষ্ণতা দেখ। গণনা পরে দেওয়া হইয়াছে। দূর হইতে দূরবীক্ষণ বা বড় কাচের মধ্য দিয়া শিশিরের উৎপত্তি পর্যবেক্ষণ করিবে নচেৎ নিঃশ্বাসের উষ্ণতায় শিশির উপিয়া যাইতে পারে।

ভুলের সম্ভাবনা : (ক) মসলিন হইতে উদ্ভূত ইথার বাষ্প বায়ুর আর্দ্রতা বাড়াইতে পারে। (খ) A কুণ্ডে ইথারের উপরতল হইতে বাষ্পীভবন হয় এবং ইথারকে যখন নাড়া হয় না তখন সমস্ত ইথার এক উষ্ণতায় থাকে না। T থার্মমিটারের উষ্ণতা ঠিক হয় না। (গ) কাচ তাপ কুপরিবাহী সুতরাং A কুণ্ডের বাহিরে ও ভিতরে এক উষ্ণতা থাকে না। (ঘ) পাশাপাশি দুইটি তুলনামূলক কুণ্ড না থাকাতে শিশিরের উৎপত্তি ও অন্তর্ধান ঠিক বোঝা যায় না। (ঙ) শীতলীকরণের হার ইচ্ছামত নিয়ন্ত্রণ করা যায় না। (চ) বায়ু খুব উষ্ণ ও শুষ্ক হইলে অনেকখানি ইথার নষ্ট হয়।

(খ) **Regnault হাইগ্রোমিটার যন্ত্র** : এই যন্ত্রে একটি পিতলের লম্ব নল Aর দুই পাশে দুইটি কাচের মোটা পরীক্ষা-নল (test tube) C ও B জোড়া থাকে। পরীক্ষা-নলের নিম্ন অংশ কাচের পরিবর্তে পাতলা রূপার চক্‌চকে পাত S ও S_1 দ্বারা গঠিত হয়। দুই নলের মুখে দুইটি কর্ক E ও Fএর মধ্য দিয়া দুইটি থার্মমিটার T_1 ও T_2 রাখা হয়। T_2 বায়ুর উষ্ণতা ও T_1 শিশিরাঙ্ক নির্দেশ করে। T_1 সুবেদী থার্মমিটার। D বাঁকান কাচনল C নলের প্রায় তলদেশ পর্যন্ত গিয়াছে। C নলে ইথার থাকে। A নল G রবার নল দ্বারা জলপূর্ণ বায়ু শোষণ-পাত্র (aspirator) Hএর সঙ্গে যোগ করা থাকে। শিশিরের গঠন ও অন্তর্ধান শুধু তুলনা করিবার জন্য B নলের চক্‌চকে অংশের প্রয়োজন। ইহাকে নকল (dummy) নল বলে।

৪১নং চিত্র

ক্রিয়া ঃ H শোষণ-পাত্রের নীচের প্যাঁচকল I খুলিয়া দাও। শোষণ-পাত্রের জল বাহির হইয়া যাইবে এবং শোষণ-পাত্র বাহির হইতে বায়ু টানিয়া লইবে। এই বায়ু D নলের মধ্য দিয়া ঢুকিয়া ইথারের মধ্য দিয়া বুদ্‌বুদ হইয়া A ও G নলের মধ্য দিয়া শোষণ পাত্রে যাইবে। ফলে C নলের ইথার শীঘ্র শীঘ্র বাষ্পীভূত হইবে এবং C পরীক্ষা-নলের গাত্র হইতে লীন তাপ গ্রহণ করিবে সুতরাং C পরীক্ষা-নলের নীচে রূপার অংশ ক্রমশঃ শীতল হইবে, এবং ইহার চারিপাশের বায়ুও শীতল হইবে। যখন C পরীক্ষা-নলের চারিপাশের বায়ু উষ্ণতা-হ্রাসের সঙ্গে জলীয় বাষ্পে সংপৃক্ত হইবে অর্থাৎ শিশিরাঙ্কে পৌছিবে তখন উহার গায়ে বায়ুর জলীয় বাষ্প বিন্দু বিন্দু শিশিররূপে জমিয়া যাইবে এবং B নলের তুলনায় C নলের নিম্ন অংশ তত চক্‌চকে দেখাইবে না। দূর হইতে দূরবীণ সাহায্যে যে মুহূর্তে C নলে শিশির গঠিত হইতে দেখিবে সেই মুহূর্তে T_1 থার্মমিটারে উষ্ণতা দেখ। শোষণ-পাত্রের জলপড়া বন্ধ কর। C নল ক্রমশঃ উষ্ণ হইবে। যে উষ্ণতায় শিশির উপিয়া যাইবে, তাহা দেখ। এই দুই উষ্ণতার গড় = শিশিরাঙ্ক = $t°c$.

T_2 থার্মমিটার দিয়া বায়ুর উষ্ণতা $t_1°c$ লও। Regnault তালিকা দেখিয়া $t°c$ ও $t_1°c$ উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের চরম চাপের মান দেখ। মনে কর উহারা যথাক্রমে f ও F

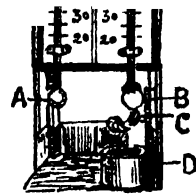
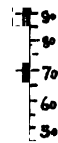
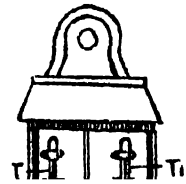
$$\text{আঃ আর্দ্রতা} = \frac{t°c \text{ উষ্ণতায় সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ}}{t_1°c \text{ উষ্ণতায় সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ}} \times ১০০\%$$

$$= \frac{f}{F} \times ১০০\% \cdots (৪৩)$$

সুবিধা ঃ (ক) বায়ুর বুদ্‌বুদ দ্বারা ইথার আলোড়িত হয় বলিয়া উহার উষ্ণতার সমতা রক্ষা হয়। (খ) রূপা তাপ সুপরিবাহী, সুতরাং C নলের রূপার পাতের ও ইথারের উষ্ণতা কার্যতঃ একই হয়। (গ) দুইটি নলের উজ্জ্বলতা তুলনা করিয়া শিশিরের উৎপত্তি ও অন্তর্ধান দেখার সুবিধা হয়। (ঘ) শোষণ-পাত্রের জল নির্গমন নিয়ন্ত্রিত করিয়া বাষ্পীভবনের হার নিয়ন্ত্রণ করা যায়। (ঙ) ইথারের বাষ্প শোষণ-পাত্রের ভিতর ঢোকে কাজেই ইহা বায়ুর আর্দ্রতা

বদলাইতে পারে না। (চ) শোষণ-পাত্রকে হাইগ্রোমিটার হইতে দূরে রাখিবে যাহাতে পাত্র হইতে নির্গত জলের বাষ্প বায়ুর আর্দ্রতা পরিবর্তন না করে।

(গ) **আর্দ্র ও শুষ্ক কুণ্ড হাইগ্রোমিটার : নীতি :** বাষ্পীভবনের হার দেখিয়া বায়ুর উষ্ণতা ও বায়ুতে বর্তমান জলীয় বাষ্পের পরিমাণ তথা আঃ আর্দ্রতা নির্ণয় করা হয়।

যন্ত্র ও ক্রিয়া : ইহাতে শিশিরাঙ্ক নির্ণয় করিতে হয় না। ইহাতে দুইটি পারদ থার্মমিটার T ও T_1 পাশাপাশি একটি ফ্রেমে আটকান থাকে। T_1 থার্মমিটারের B কুণ্ড সাবান দিয়া ধৌত C মসলিনে ঢাকা থাকে। মসলিনের একপ্রান্ত D পাত্রের জলে ডুবাইয়া রাখা হয়। জল কৌশিক বলে (capillary force) সর্বদাই উপরে উঠিয়া মসলিনকে সিক্ত রাখে। সিক্ত মসলিন হইতে অনবরত জল বাষ্পীভূত হয় এবং T_1 জল থার্মমিটারের B কুণ্ড হইতে লীনতাপ গ্রহণ করে। ফলে T_1 থার্মমিটারে T থার্মমিটার অপেক্ষা কম উষ্ণতা দেখা যায়। T থার্মমিটার দিয়া বায়ুর উষ্ণতা দেখা হয়। দুই উষ্ণতার পার্থক্য হইতে বায়ুর আর্দ্রতা পাওয়া যায়। যদি বায়ু শুষ্ক হয় অর্থাৎ বায়ুতে জলীয় বাষ্প কম থাকে তবে B কুণ্ডের জল শীঘ্র শীঘ্র বাষ্পীভূত হইবে এবং উহার উষ্ণতা A কুণ্ডের উষ্ণতা হইতে অনেক কমিয়া যাইবে। এই পার্থক্য বেশী হইলে শিশিরাঙ্ক কম হইবে এবং পার্থক্য কম হইলে শিশিরাঙ্ক বেশী হইবে।

৪২নং চিত্র

গণনা : আপেক্ষিক আর্দ্রতা তিন উপায়ে গণনা করা হয় : (ক) একটি তালিকায় A শুষ্ক কুণ্ড থার্মমিটারের উষ্ণতা (= বায়ুর উষ্ণতা), তার আনুসঙ্গিক জলীয় বাষ্পের চাপ F মিঃ মিঃ এবং দুই থার্মমিটারের উষ্ণতার পার্থক্য ও পার্থক্যের

আনুষঙ্গিক শিশিরাঙ্কে জলীয় বাষ্পের চাপ f লেখা থাকে। ∴ আঃ আর্দ্রতা $=\frac{f}{F}\times$ ১০০%

(খ) $f=F-$'০০০৭৭ $(t-t^1)\times H\cdots$(৪৪)—এই সমীকরণ হইতে আঃ আর্দ্রতা পাওয়া যায়। এখানে $f=$ মিঃ মিটারে জলীয় বাষ্পের চাপ, $t_1=$ শুষ্ক থার্মমিটারের উষ্ণতা, $t_2=$ আর্দ্র থার্মমিটারের উষ্ণতা, $F=t$°Cতে জলীয় বাষ্পের চাপ, $H=$ বায়ু-মণ্ডলের চাপ।

(গ) $t_1-t_0=F(t_1-t_2)\cdots$(৪৫) এখানে t_0, t, t_2 যথাক্রমে সেই সময়ের শিশিরাঙ্ক, শুষ্ক ও আর্দ্র থার্মমিটারের উষ্ণতা এবং $F=$ Glaisher ধ্রুবক।

এই উপায়ে শিশিরাঙ্ক পাওয়া যায়। Regnault তালিকা হইতে t_0 ও t_1 উষ্ণতায় বাষ্পের চাপ বাহির করিয়া আঃ আর্দ্রতা গণনা করা হয়।

১০৫। **আর্দ্র বায়ুর ভর** (Mass of moist air): ১ লিটার t°C উষ্ণতায় আর্দ্র বায়ুর ভর $=$ ১ লিটার t°C উষ্ণতায় শুষ্ক বায়ুর ভর $+$ ১ লিটার t°C উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পের ভর।

মনে কর বায়ুমণ্ডলের চাপ ও উষ্ণতা $=P$ মিঃ মিঃ ও t°C, জলীয় বাষ্পের চাপ $=f$ মিঃ মিঃ (শিশিরাঙ্ক বাহির করিয়া)।

Daltonএর নিয়মানুসারে শুধু বায়ুর চাপ $=(P-f)$ মিঃ মিঃ।

$(P-f)$ মিঃ মিঃ চাপে ও (২৭৩$+t$)° A উষ্ণতায় যে ভরের (মনে কর m_1) বায়ুর আয়তন ১ লিটার সেই ভরের বায়ুর সাধারণ চাপে (৭৬০ মিঃ মিঃ) ও সাধারণ উষ্ণতায় (২৭৩°A) আয়তন $V=১\times\frac{২৭৩}{২৭৩+t}\times\frac{P-f}{৭৬০}$ লিটার

সাধারণ চাপে ও উষ্ণতায় ১ লিটারের ভর $=$ ১'২৯৩ গ্রাম

$$\therefore \text{ V আয়তনের ভর } m_1 = ১'২৯৩\times\frac{২৭৩}{২৭৩+t}\times\frac{P-f}{৭৬০} \text{ গ্রাম.}$$

অসংপৃক্ত জলীয় বাষ্প গ্যাস-নিয়ম মানে ∴ সাধারণ উষ্ণতায় ও চাপে জলীয় বাষ্পের আয়তন $=১\times\frac{২৭৩}{২৭৩+t}\times\frac{f}{৭৬০}$ লিটার

বায়ুর তুলনায় জলীয় বাষ্পের ঘনাঙ্ক = ৬২ ∴ উপরোক্ত আয়তনের বাষ্পের ভর $m_2 = ৬২ \times ১·২৯৩ \times \frac{২৭৩}{২৭৩+t} \times \frac{f}{৭৬০}$ গ্রাম

∴ ১ লিটার আর্দ্র বায়ুর ভর $= m_1 + m_2$

$$= ১·২৯৩ \times \frac{২৭৩}{২৭৩+t}\left(\frac{P - f + ·৬২f}{৭৬০}\right) \text{ গ্রাম}$$

$$= ১·২৯৩ \times \frac{২৭৩}{২৭৩+t}\left(\frac{P - ·৩৮f}{৭৬০}\right) \text{ গ্রাম} \cdots (৪৬)$$

১০৬। **বায়ুর জলীয় বাষ্পের ঘনীভবন:** বিভিন্ন কারণে ও অবস্থায় বায়ু শীতল হইলে জলীয় বাষ্পের ঘনীভবন হয় এবং শিশির, কুয়াসা, মেঘ ও বৃষ্টির উৎপত্তি হয়।

শিশির: দিনে প্রত্যক্ষ সূর্যতাপে বিস্তৃর্ণ জলাশয় হইতে জল বাষ্পীভূত হয় এবং প্রচুর বাষ্প বায়ুতে মিশিয়া যায়। দিনে ভূপৃষ্ঠ ও তৎনিকটবর্তি সমস্ত দ্রব্য ও বায়ু সূর্যতাপ যতটা গ্রহণ করে তার চেয়ে কম তাপ বিকিরণ (radiate) করে সুতরাং দিনে প্রত্যেক দ্রব্য ও বায়ু বেশী উত্তপ্ত হয় এবং উত্তপ্ত বায়ু বেশী জলীয় বাষ্প ধারণ করিতে পারে বলিয়া এত বাষ্পেও বায়ু অসংপৃক্ত থাকে। রাত্রিতে বিশেষতঃ (মেঘশূন্য রাত্রিতে) এই সকল দ্রব্য সূর্যতাপের অভাবে কেবল তাপ বিকীরণ করে সুতরাং ইহারা শীতল হইতে থাকে। পৃথিবীর নিকটস্থ বায়ু শীতল হইতে হইতে যখন শিশিরাঙ্কে নামে তখন এই বায়ু ইহাতে বর্তমান জলীয় বাষ্পের দ্বারা সংপৃক্ত হইয়া পড়ে। ইহার পরও উষ্ণতা কমিলে অতিরিক্ত বাষ্প জলকণারূপে শীতল দ্রব্যের গায়ে জমে। এই জল বিন্দুকে **শিশির** বলে।

নিম্নলিখিত **কারণগুলি** শিশির গঠনে সহায়তা করে:—

(ক) **মেঘশূন্য আকাশ:** মেঘ তাপ বিকিরণে বাধা দেয় সুতরাং মেঘশূন্য রাত্রিতে তাপ বিকিরণ ত্বরান্বিত হয়। ইহাতে ভূপৃষ্ঠস্থ দ্রব্যগুলি শীঘ্র শীঘ্র বেশী শীতল হয় এবং ইহাদের উপরে প্রচুর শিশির গঠিত হয়।

(খ) **বায়ু প্রবাহের (Wind) অভাব :** ইহাতে কোন বায়ুস্তর বেশীক্ষণ শীতল বস্তুর সংস্পর্শে থাকিয়া শিশিরাঙ্কের নীচে শীতল হইতে পারে এবং একবার শিশির জমিলে তাহার উপিয়া যাওয়ার সম্ভাবনা কম থাকে।

(গ) **ভাল তাপ বিকিরণকারী পদার্থ :** এই সকল পদার্থ দ্রুত তাপ বিকিরণ করিয়া নিকটস্থ বায়ুর উষ্ণতা শিশিরাঙ্কের নীচে কমাইতে সক্ষম হয় এবং বাষ্প ঘনীভবন হইবার সময় যে লীন তাপ বাহির হয় তাহাও এই সকল দ্রব্য দ্রুত বিকিরণ করিয়া দেয়। গাছের পাতা ও ঘাস ভাল তাপ বিকিরণকারী। সুতরাং ইহাদের উপর শিশির বেশী জমে।

(ঘ) **পৃথিবীর নিকটস্থ দ্রব্য :** পৃথিবী-পৃষ্ঠ হইতে যে সকল দ্রব্য খানিকটা উপরে থাকে তাহাদের নিকটস্থ বায়ু একটু শীতল হইবা মাত্র ভারী হইয়া নীচে নামে এবং আরও উপর হইতে উষ্ণ ও হাল্কা বায়ু এই স্থানে নামিয়া আসে। ফলে উপরের কোন বায়ুস্তরই শিশিরাঙ্ক পর্যন্ত শীতল হয় না, শিশিরও জমে না।

কুয়াসা (Fog) ও কুহেলিকা (Mist) : রাত্রিতে তাপ বিকিরণ করিয়া যদি পৃথিবী-পৃষ্ঠ এমন শীতল অবস্থায় আসে যে সমগ্র বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা শিশিরাঙ্কের নীচে নামিয়া আসে তবে বায়ুমণ্ডলের অতিরিক্ত জলীয় বাষ্প বায়ুতে ভাসমান ধূলিকণায়, কয়লার কণায় জমিয়া কুয়াসা ও কুহেলিকা সৃষ্টি করে। প্রভাতের পর সূর্যতাপ প্রখর হইলে উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে কুয়াসা বাষ্পীভূত হইয়া বায়ুতে বিলীন হইয়া যায়। সাধারণতঃ কুয়াসা স্থলের উপর এবং কুহেলিকা জলের উপর গঠিত হয়।

মেঘ (Clouds) : বাষ্পপূর্ণ বায়ু কোন কারণে উষ্ণ ও হাল্কা হইয়া উপরে উঠিয়া গেলে সেখানে শীতল বায়ুর সংস্পর্শে আসিয়া এবং ঊর্ধ্বে চাপ-হ্রাসের জন্য সম্প্রসারিত হইয়া শীতল হইতে হইতে শিশিরাঙ্কের নীচে নামিয়া যায়। তখন অতিরিক্ত জলীয় বাষ্প উপরের বায়ুতে ভাসমান ধূলিকণার উপর জমিয়া **মেঘ** সৃষ্টি করে। মেঘস্থিত কতিপয় জলবিন্দু কোন কারণে একত্রিত হইয়া বড় ফোঁটায় পরিণত হয় এবং তখন উহারা ওজনের জন্য উপরে থাকিতে পারে না, নীচে **বৃষ্টিরূপে** পতিত হয়।

অঙ্ক : 1. On a certain day the dew point is 8.5° C and the temperature of the air is 18·4°C. Find the relative humidity; the maximum vapour pressure for 8°C, 9°C, 18°C, and 19°C is respectively 8·04, 8·61, 15·46, 16·46 m. m. of mercury. (P. U. 1948)

৮°C হইতে ৯°C পর্যন্ত ১°C উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য বাষ্পের চাপ-বৃদ্ধি

= ৮·৬১ − ৮·০৪ = ·৫৭ মিঃ মিঃ

৮°C হইতে ৮·৫°C পর্যন্ত ·৫°C উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য বাষ্পের চাপ-বৃদ্ধি

= ·২৮৫ মিঃ মিঃ

এইরূপে ১৮°C হইতে ·৪°C উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য চাপ-বৃদ্ধি = ০·৪

∴ ৮·৫°Cতে বাষ্পের চাপ = ৮·০৪ + ·২৮৫ = ৮·৩২৫ মিঃ মিঃ

১৮·৪°Cতে „ = ১৫·৪৬ + ·৪ = ১৫·৮৬ মিঃ মিঃ

∴ আঃ আর্দ্রতা = ৮·৩২৫ ÷ ১৫·৮৬ = ৫২·৫%.

2. The temperature of the air in a closed space is observed to be 15°C and the dew point is 8°C. If the temperature falls to 10°C, how will the dew point be affected? (Press. of aq. vapour in mms. of mercury at 7°C = 7·49; at 8°C = 8·02) (Pat. 1925, '31, '40 '41)

জায়গাটি বদ্ধ হওয়ায় আয়তন নির্দিষ্ট থাকে।

∴ চাপ ∝ চরম উষ্ণতা। যদি ১০°Cতে চাপ = $P_১$, ১৫°Cতে চাপ = $P_২$ তবে $\frac{P_১}{P_২} = \frac{১০ + ২৭৩}{১৫ + ২৭৩} = \frac{২৮৩}{২৮৮}$

কিন্তু ১৫°Cতে চাপ = শিশিরাঙ্ক ৮°Cতে সর্বোচ্চ চাপ = ৮·০২ মিঃ মিঃ

$$∴ \quad P_১ = ৮·০২ \times \frac{২৮৩}{২৮৮} = ৭·৮৮ \text{ মিঃ মিঃ}$$

মনে কর t C উষ্ণতায় ৭·৮৮ মিঃ মিঃ সর্বোচ্চ চাপ হইবে।

∴ ১০°Cএর আনুষঙ্গিক শিশিরাঙ্ক হইবে t°C.

এখন ৭°C হইতে ৮°C পর্যন্ত ১° উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য চাপ-বৃদ্ধি (৮·০২ − ৭·৪৯) = ·৫৩ মিঃ মিঃ

∴ (৮·০২ − ৭·৮৮ =) ·১৪ মিঃ মিঃ চাপ-হ্রাসের জন্য শিশিরাঙ্ক হ্রাস হইবে

$$\frac{·১৪}{·৫৩} = \left(\frac{১}{৪}\right)$$

১০°Cতে শিশিরাঙ্ক = ৭$\frac{৩}{৪}$°.

প্রশ্ন

1. Why does a glass tumbler cloud over on the outside when ice-cold water is poured into it (C. U. 1929-30, D. U. '29). When a lump of ice is exposed to the atmosphere mist forms around it. Why? (C. U. 1933, A. U. 1928, P. U. 1933).

2. Define Dew point (C. U. 1929, '37, '44 ; A. U. 1926 ; P. U. 1935). The dew point of a given sample of air is 20°C. Explain it. (C. U. 1926)

3. State what is meant by the term Relative and Absolute Humidity. (C. U. 1935, '37, '42). On what factors does it depend? (P. U. 1932, '35)

4. Define Relative Humidity. Does your opinion of dampness or dryness depend upon the absolute quantity of water vapour present? Explain your answer. (A. U. 1922). The average temperature of a summer day is much higher than that of a winter day, but still a damp cloth dries more quickly on a winter day. Explain why? (C. U. 1929).

5. Describe a dew point hygrometer and explain its action (C. U. 1948.)

6. Describe two types of hygrometers. Why is it necessary to determine relative humidity? (A. U. 1926, C. U. 1931, '35).

7. Explain how to determine the amount of aqueous vapour present in the air from the knowledge of the dew point.

8. How is dew formed and why is it more copious on some substances than on others? Cloudless nights are better than cloudy ones for the formation of dew. Explain (C. U. 1927, '46, A. U. 1947, '17)

9. What is meant by Regnault Table of sat. pressure of aq. vapour. Point out its usefulness. (C. U. 1944)

10. Why does a morning fog generally disappear before noon? (C. U. 1930)

11 Explain the formation of clouds. (C. U. 1632)

12. Find the weight of a litre of air saturated with moisture, the pressure being 750 m.m. of mercury and the temperature 15°C. (Pressure of aqueous vapour at 15°C = 12·7 mm, weight of 1 c.c. of dry

air at 0°C and 760 mm. = '001293 gram. Sp. gr. of water vapour referred to air = '623).

13. Calculate the mass of 7·5 litres of moist air at 27°C, given that the dew point is 15°C and barometric height is 762·75 m m. Calculate also the humidity of air, the vapour pressure of water at 27°C and 15°C = 25·5 m.m. and 12·75 m.m. (Ans. 8·923 gms ; 0·5.)

তাপ চলাচল (Transmission of Heat)

১০৭। **চলাচলের প্রক্রিয়া** :– তিন প্রকারে তাপশক্তি একস্থান হইতে অন্যস্থানে যাইতে পারে যথা :—

(ক) **পরিবহন** (Conduction) : এই প্রণালীতে একই দ্রব্যের উষ্ণতর অংশ হইতে শীতলতর অংশে কিংবা উষ্ণ দ্রব্য হইতে তৎ সংলগ্ন শীতল দ্রব্যে তাপ চলাচল করে। ইহাতে পদার্থের কোন কণা নিজ স্থান ত্যাগ (transference) করে না। কঠিন পদার্থ এইরূপে উত্তপ্ত হয়। একটি লৌহ হাতার একপ্রান্ত আগুনের ভিতর রাখিলে আগুনের সংস্পর্শে যে সকল অনু থাকে আগুণ তাহাদিগকে প্রথমে তাপশক্তি প্রদান করে। ইহাতে এই অনুগুলির গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়। এই অনুগুলির বর্ধিত বেগ পার্শ্ববর্তি শীতল অনুকে ধাক্কা দেয়। পার্শ্ববর্তি শীতল অণুর গতি বৃদ্ধি পায়, ইহাতে এই অণু উষ্ণ হয়। এইরূপে অণুর গতি (vibratory motion) দ্বারা তাপ লৌহ দণ্ডের এক প্রান্ত হইতে অপর প্রান্তে পৌছায় কিন্তু লৌহদণ্ডের অণুগুলি স্থান ত্যাগ করে না।

(খ) **পরিচলন** (Convection) : এই প্রণালীতে পদার্থের উত্তপ্ত কণিকাগুলিই উষ্ণতর স্থান হইতে শীতলতর স্থানে গমন করিয়া তাপ লইয়া যায়। তরল ও গ্যাস সাধারণতঃ এই উপায়ে উত্তপ্ত হয়, কারণ কঠিনের কণা স্থান ত্যাগ করিতে পারে না।

পরীক্ষা : (১) **তরলের পরিচলন**—একটি বর্তুলাকার ফ্লাস্কের ¾ ভাগ জলে ভর্তি কর। ইহার ভিতর একটু নীল রং ফেলিয়া দাও। ফ্লাস্কের তলা ধীরে ধীরে গরম কর। আগুণের নিকটস্থ তলার রঙীন জল প্রথমে গরম, প্রসারিত ও হাল্কা হইয়া ফ্লাস্কের মাঝখান দিয়া (কারণ ফ্লাস্কের তলার পরিধি

মাঝখানের পরিধির চেয়ে ছোট) উপরে উঠে। উপরের শীতল ভারী রংশূন্য জল ফ্লাস্কের ভিতরের গাত্র বহিয়া তলার শূন্য স্থানের দিকে আসে। অতএব জলের ভিতর দুইটি জলস্রোতের উৎপত্তি হয়—একটি ঊর্ধ্বমুখী উষ্ণ জলস্রোত আর একটি নিম্নমুখী শীতল জলস্রোত। যতক্ষণ না সমস্ত জল একই উষ্ণতায় আসে ততক্ষণ এইরূপ চলে। এখানে জলেরই কণাগুলি উষ্ণ হইয়া অন্যত্র গমন করিয়া তাপ পরিচলন করে।

(২) **গ্যাসের পরিচলন:** আলোর শিখার একটু **উপরে** হাত রাখিলে আমরা গরম বোধ করি। শিখার সংস্পর্শের বায়ু গরম ও উত্তপ্ত হইয়া উপরে উঠে। পার্শ্ববর্তি স্থান হইতে শীতল ও ভারী বায়ু প্রবাহিত হইয়া এই শূন্য স্থান পূরণ করে। এই চক্র চলিতে থাকে।

(গ) **বিকিরণ** (Radiation)**:** এই প্রণালীতে তাপ মাধ্যমকে (medium) উত্তপ্ত না করিয়া এক দ্রব্য হইতে অপর দ্রব্যে গমন করে। তাপ উৎস হইতে তরঙ্গাকারে চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে। এই মাধ্যম শূন্য হইতে পারে বা কোন পদার্থ হইতে পারে। সূর্য এই উপায়ে পৃথিবীকে উত্তপ্ত করে। সূর্য ও বায়ুমণ্ডলের মাঝে অনন্ত শূন্য (Vacuum) মাধ্যম বিরাজমান। আবার সূর্যরশ্মি বায়ুর মাধ্যম দিয়া আসিয়া কোন কঠিন বা তরলে পড়িলে কঠিনের বা তরলের উষ্ণতা খুব বাড়িয়া যায় কিন্তু মাধ্যম বায়ুর উষ্ণতা খুব কম বাড়ে। আগুণের পাশে দাঁড়াইলে আমরা গরম বোধ করি। উষ্ণ বায়ুর পরিচলন স্রোত নীচ হইতে উপরের দিকে এবং পার্শ্বদেশ হইতে আগুণের দিকে যায়। বায়ু তাপের কুপরিবাহী বলিয়া তাপ বায়ুর দ্বারা পরিবাহিত হয় না। অতএব এই অবস্থায় একমাত্র বিকিরণ প্রণালী দ্বারা তাপ আমাদের গায়ে পৌঁছিতে পারে।

১০৮। **তিন প্রণালীর পার্থক্য:** (ক) পরিচলন ও পরিবহন প্রণালীতে তাপ কোন জড পদার্থের (কঠিন, তরল কিংবা গ্যাস) মাধ্যমের মধ্য দিয়া যাতায়াত করে। বিকিরণে তাপ কোন মাধ্যমের কিংবা শূন্যের মধ্য দিয়া যাইতে পারে। পরিচলনে ও পরিবহনে মাধ্যমের উষ্ণতার পরিবর্তন হয় কিন্তু বিকিরণে মাধ্যম থাকিলেও উহার উষ্ণতার বিশেষ কোন পরিবর্তন হয় না। (খ) পরিবহনে মাধ্যমের অণুগুলি স্থান ত্যাগ করে না। পরিচলনে মাধ্যমের অণুগুলি

স্থান ত্যাগ করে। সাধারণ কঠিন পরিবহন, তরল ও গ্যাস পরিচলন প্রণালীতে উত্তপ্ত হয়। বিকিরণে তরঙ্গগতির উৎপত্তি হয়। (গ) পরিবহন ও পরিচলন মন্থর প্রণালী, বিকিরণ খুব দ্রুত প্রণালী। বিকিরণের তরঙ্গের বেগ আলোক-তরঙ্গের বেগের সমান। (ঘ) পরিবহন ও পরিচলন প্রণালীতে তাপ শক্তি বক্র বা সরল পথে গমন করে, বিকিরণ প্রণালীতে তাপ শক্তি কেবল সরল পথে গমন করে। /

১০৯। **তিন প্রণালীতে তাপ চলাচল নিবারণ:** (ক) তিন প্রকারের তাপ সঞ্চলন বিভিন্ন উপায়ে নিবারণ করা হয়:—

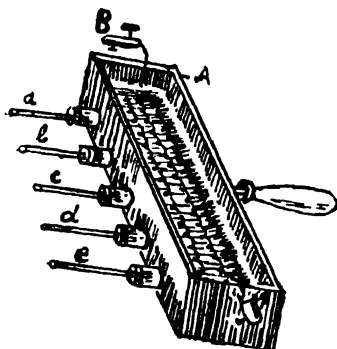
(ক) কোন উত্তপ্ত পদার্থকে তাপ কুপরিবাহীর (যেমন কাঠ, ইবোনাইট, এনামেল) দ্বারা ঘিরিয়া রাখিলে উক্ত পদার্থ হইতে পরিবহনে তাপ-চলাচল নিবারিত হয়। (খ) কোন উত্তপ্ত পদার্থকে বায়ুশূন্য আধারে রাখিলে পদার্থ হইতে পরিচলনে তাপ-চলাচল নিবারিত হয়। (গ) কোন উত্তপ্ত কঠিন পদার্থের বাহির তল মসৃণ হইলে কিংবা কোন মসৃণ তল বিশিষ্ট পাত্রে কোন উত্তপ্ত তরল রাখিলে বিকিরণে তাপ চলাচল বন্ধ হয়। Thermos ফ্লাস্কে দুধ বা চা গরম থাকে (পরে দ্রষ্টব্য)।

১১০। **পরিবাহিতা** (Conductivity)—কোন পদার্থের তাপ পরিবহন গুণকে **পরিবাহিতা** বলে। সকল পদার্থের এই গুণ সমান পরিমাণে থাকে না। যে সকল পদার্থ খুব শীঘ্র ও সহজে তাপ পরিবহন করে তাহাদিগকে তাপের **সুপরিবাহী** (good conductors) বলে; যথা ধাতু। যে সকল পদার্থ শীঘ্র ও সহজে তাপ পরিবহন করে না তাহাদিগকে তাপের **কুপরিবাহী** **(bad conductor)** বলে, যথা গ্যাস, কাপড়, কাচ, কাঠ, পশম।

১১১। **পরিবাহিতার তুলনা:** নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা বিভিন্ন কঠিনের পরিবাহিতার তুলনা করা হয়।

(ক) **Ingen Hausz's** এর **পরীক্ষা:—যন্ত্র:** একটি ধাতব দ্রোণী **Ar (trough)** একধারে কতকগুলি ছোট সরু (প্রায় ৩ মিঃ মিঃ ব্যাসের) নল জোড়া থাকে। নলগুলির মধ্য দিয়া বিভিন্ন পদার্থের (যথা:—পিতল, লোহা, তামা, কাঠ, কাচ) একই ব্যাস ও দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট কতকগুলি দণ্ড *a, b, c, d e,*

কর্ক দিয়া আটা থাকে। দণ্ডগুলির সমান অংশ দ্রোণীর মধ্যে বিস্তৃত থাকে। দণ্ডগুলির দ্রোণীর বাহিরের অংশ মোমের পাতলা স্তর দিয়া আবৃত থাকে।

ক্রিয়া—দ্রোণীর মধ্যে জল থাকে। জলকে তড়িৎ প্রবাহ দ্বারা ফুটান হয় যাহাতে দণ্ডগুলির এক প্রান্ত একই উচ্চ উষ্ণতায় উঠে। দণ্ডগুলি তাপ পরিবহন করে। যখন যে কোন দণ্ডের উষ্ণতা মোমের গলনাঙ্কে পৌঁছায় তখন সেই দণ্ডের মোম গলিতে আরম্ভ করে। কিন্তু সব দণ্ডে মোম একই সময় গলিতে আরম্ভ করে না। অর্থাৎ উষ্ণতা-বৃদ্ধির হার সব দণ্ডে সমান হয় না। পিতলের দণ্ড শীঘ্র শীঘ্র গলে। আবার যখন প্রত্যেক দণ্ডের উষ্ণতা স্থির অবস্থায় আসে, (১১৪ অনুচ্ছেদ) অর্থাৎ যখন মোমের গলন বন্ধ হয় তখন দেখা যায় বিভিন্ন দণ্ডে বিভিন্ন দৈর্ঘ্য পর্যন্ত মোম গলিয়াছে। তামার দণ্ডে বেশী দূর গলিয়াছে, কাঠ বা কাচের দণ্ডে কম দূর গলিয়াছে। এই পরীক্ষা প্রমাণ করে **বিভিন্ন পদার্থের তাপ পরিবাহিতা বিভিন্ন**। ইহা গণিতের সাহায্যে প্রমাণ করা যায় যে যদি T_1, T_2, T_3, বিভিন্ন পদার্থের পরিবাহিতা হয় এবং l_1, l_2, l_3 .. যে পর্যন্ত মোম গলে সেই পর্যন্ত দণ্ডের দৈর্ঘ্য হয় তবে

৪৩নং চিত্র

$$T_1 : T_2 : T_3 \ldots = l_1^2 : l_2^2 : l_3^2.$$

অর্থাৎ পরিবাহিতা ও গলিত মোমের দৈর্ঘ্যের বর্গ সমানুপাতিক হয়।

(খ) **পরীক্ষা**—অর্ধেকটা পিতলের ও অর্ধেকটা কাঠের এইরূপ দণ্ডকে পাতলা কাগজ দিয়া জোরে ধরিয়া বুনসেন দীপের শিখার উপর ধরিলে কাঠের উপরকার কাগজ আগে পুড়িবে। পিতলের উপরকার কাগজ পরে পুড়িবে। কেন ? পিতল তাপের সুপরিবাহী বলিয়া শীঘ্র শীঘ্র শিখার তাপ পরিবহন করে, কাগজ পুড়িতে যথেষ্ট তাপ পায় না।

১১২। পরিবাহিতাঙ্ক (Thermal conductivity or coefficient of conductivity) : এক একক দৈর্ঘ্য, এক একক প্রস্থ ও এক একক উচ্চতা

বিশিষ্ট কোন পদার্থের ঘনকের দুই বিপরীত তলে উষ্ণতার পার্থক্য এক ১°C হইলে এক সেকেণ্ডে অভিলম্বভাবে দুই বিপরীত তল দিয়া অর্থাৎ এক একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়া যে পরিমাণ তাপ পরিবাহিত হয় তাহাকে পদার্থের **পরিবাহিতাঙ্ক** বলে।

"লোহার পরিবাহিতাঙ্ক '২ ক্যালরি"—ইহার অর্থ এই যে এক সেন্টিমিটার দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা বিশিষ্ট লোহার ঘনকের দুই বিপরীত তলে ১°C উষ্ণতার পার্থক্য থাকিলে এক সেকেণ্ডে উষ্ণতর তল হইতে শীতলতর তলে '২ ক্যালরি তাপ গমন করিবে।

১১৩। **পরিবাহিতাঙ্কের গণনা ঃ** যদি একটি পাতের দুই সমান্তরাল তলের উষ্ণতার পার্থক্য t_1 ও t_2 $(t_1 > t_2)$ হয় এবং দুই তলের মধ্য দিয়া মোট প্রবাহিত তাপের পরিমাণ Q হয় তবে পরীক্ষা হইতে প্রমাণ হইবে যে (ক) Q পাতের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল Aর সমানুপাতিক হয়, (খ) Q দুই তলের উষ্ণতার পার্থক্যের সমানুপাতিক হয়, (গ) Q সময় T সেকেণ্ডের সমানুপাতিক হয় এবং (ঘ) Q পাতের বেধ d-এর ব্যস্তানুপাতিক হয়।

$$\therefore \quad Q \propto A \frac{(t_1 - t_2) \times T}{d} = K.\frac{A \times (t_1 - t_2) \times T}{d} \cdots (৪৭)$$

$K =$ ধ্রুবক যাহা পদার্থের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। যদি $A = ১$, $(t_1 - t_2) = ১$, $T = ১$, $d = ১$ তবে $Q = K$। Kকে তাপের পরিবাহিতাঙ্ক বলে।

$t_1 - t_2$ কে উষ্ণতার নতিমাত্রা (Temperature gradient) বা একক দৈর্ঘ্যে উষ্ণতার হ্রাস বলে।

১১৪। **পরিবাহিতাঙ্ক, আপেক্ষিক তাপ ও উষ্ণতা-বৃদ্ধির হার ঃ—**

যখন কোন দণ্ডের এক প্রান্ত গরম করা হয় তখন ইহার উষ্ণতার পর পর দুইটি অবস্থা হয়ঃ (ক) **পরিবর্তনীয় অবস্থা** (Variable State) : এই অবস্থায় দণ্ডের প্রত্যেক অংশ পূর্ববর্তি উষ্ণতর অংশ হইতে পরিবহন ক্রিয়ায় তাপ পায়। মনে কর ইহা a। এই তাপের খানিকটা আবার এই অংশ পরবর্তি শীতলতর অংশে চালান দেয়। মনে কর ইহা b এবং খানিকটা পরিচলনে বা বিকিরণে নষ্ট হয়। মনে কর ইহা c কিন্তু চালান দেওয়া ও নষ্ট হওয়া তাপের মোট

পরিমাণ $b+c$ প্রাপ্ত তাপ চেয়ে কম থাকে কাজেই কিছু তাপ Aর উদ্বৃত্ত থকে। অর্থাৎ $a>b+c$। এই উদ্বৃত্ত তাপ দণ্ডের সেই অংশ শোষণ (absorb) করে এবং তাহাতে দণ্ডের প্রত্যেক অংশের উষ্ণতা বৃদ্ধি হয়।

(খ) **স্থির অবস্থা** (Stationary State): কিছুক্ষণ পরে $b+c=a$ হয় অর্থাৎ চালান দেওয়া তাপের ও নষ্ট হওয়া তাপের পরিমাণ প্রাপ্ত তাপের পরিমানের সমান হয়। তখন শোষিত হইয়া দণ্ডের উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য কোন তাপ উদ্বৃত্ত থাকে না। এই অবস্থাকে দণ্ডের উষ্ণতার স্থির অবস্থা বলে।

অতএব দেখা যায় বে পরিবর্তনীয় অবস্থায যে কোন অংশের উষ্ণতা বৃদ্ধির হার দুইটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে যথা: (ক) প্রাপ্ত তাপ aএর পরিমাণের উপর। (খ) আপেক্ষিক তাপ অর্থাৎ একক ভরকে একক ডিগ্রী উষ্ণতা-বৃদ্ধি করিতে যে তাপ দরকার হয়। আবার a-এর পরিমাণ অর্থাৎ কোন অংশে প্রাপ্ত তাপের পরিমাণ দ্রব্যের পরিবাহিতাঙ্কেব উপর নির্ভর কবে। এই অবস্থায তাপের প্রবাহ পরিবাহিতাঙ্ক ও আপেক্ষিক তাপের উপর নির্ভর করে। কিন্তু স্থির অবস্থায় আর কোন তাপ শোষিত হয় না। তাপের প্রবাহ কেবল পরিবাহিতাঙ্কের উপর নির্ভর করে। সেইজন্য Ingen Hausz's পরীক্ষায় পরিবাহিতা তুলনা করিবার জন্য স্থির অবস্থা পর্য্যন্ত অপেক্ষা করিতে হয়।

গণনা: এক ঘন সেন্টিমিটারের ঘনক লও। মনে কর ঘনাঙ্ক অর্থাৎ ঘনকের ভর $=d$, আঃ তাপ $=S$, পরিবাহিতাঙ্ক $=k$. প্রতি সেকেণ্ডে উষ্ণতা-বৃদ্ধি বা উষ্ণতা-বৃদ্ধির হার $=t$ C হয়।

$\therefore$ প্রতি সেকেণ্ডে প্রবাহিত তাপের পরিমাণ $=Q=d.\,s.\,t=k.$

$$\therefore\ t=\frac{k}{d.s}=\frac{\text{পরিবাহিতাঙ্ক}}{\text{তাপ-গ্রাহিতা}}\ \ldots\ldots(8৮)$$

পরিবর্তনীয় অবস্থায় প্রতি একক আয়তনে উষ্ণতা-বৃদ্ধি পরিবাহিতাঙ্কের (অর্থাৎ মোট প্রাপ্ত তাপের পরিমাণের) সঙ্গে সমানুপাতিক এবং তাপ গ্রাহিতার (অর্থাৎ আপেক্ষিক তাপ ও ঘনাঙ্কের গুণফলের) সঙ্গে ব্যাস্তানুপাতিক হয়। $\frac{k}{d.s}$ এই অনুপাত ধ্রুবক। ইহাকে তাপের **বিক্ষিপন** (Diffusivity) বলে।

আবার যদি নির্দিষ্ট উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য P সময় লাগে তবে $P \propto \frac{d.s}{k}$। যদি মোট উষ্ণতা-বৃদ্ধি T° হয় তবে $T \propto \frac{\text{মোট তাপ}}{d.s}$।

দৃষ্টান্ত: (ক) লোহার পরিবাহিতাঙ্ক বিস্‌মাথের চেয়ে সাতগুণ এবং লোহার তাপ-গ্রাহিতা বিস্‌মাথের চেয়ে সাড়ে তিন গুণ। এইরূপ সমান মাপের দুইটি দণ্ডের উপর ভাগ মোমের স্তরে আবৃত করিয়া প্রত্যেক দণ্ডের এক প্রান্ত ২২নং চিত্রের দ্রোণীর মধ্যে রাখিলে পরিবর্তনীয় অবস্থায় বিস্‌মাথের উপর মোম শীঘ্র শীঘ্র গলিবে অর্থাৎ আপেক্ষিক তাপ কম হওয়াতে বিস্‌মাথের উষ্ণতা-বৃদ্ধির হার বেশী হইবে। একই উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য লোহার দণ্ড বেশী তাপ শোষণ করিবে। শোষণ করিবার পর মোম গলাইবার জন্য লোহার চেয়ে বিস্‌মাথের বেশী তাপ উদ্বৃত্ত থাকিবে। কিন্তু যখন উষ্ণতা স্থির অবস্থায় আসে তখন লোহা ও বিস্‌মাথ যতটা তাপ পায় ততটাই চালান দেয়, তাপ শোষণ করে না, উষ্ণতাও বাড়ে না। তখন দেখা যায় লোহার চালান দেওয়া তাপ বিস্‌মাথের চালান দেওয়া তাপের সাতগুণ। সেইজন্য লৌহ দণ্ডে মোম দৈর্ঘ্যে বেশী দূর গলে। মোমের গলনের হার তাপের বিক্ষিপ্তনের পরিমাপ দেয়।

An iron boiler 1·25 cm. in thickness contains water at atmospheric pressure. The heated surface is 2·5 sq. metres in area and the temperature of the underside is 120°C. If the thermal conductivity of iron be ·2 and the latent heat of steam is 536, find the mass of water evaporated per hour. (D. U. 1933, P. U. 1930, '41)

এখানে k = '২, A = ২'৫ × ১০⁴ বর্গ সেঃ মিঃ, d = ১'২৫ সেঃ মিঃ, $t_1 - t_2$ = ১২০ − ১০০ = ২০°C. T = ৬০ × ৬০ সেকেণ্ড।

$$(\text{৪৮ সমীকরণ হইতে})\ Q = \frac{\text{'২} \times \text{২'৫} \times \text{১০}^{\text{৪}} \times \text{২০} \times \text{৩৬০০}}{\text{১'২৫}}$$

$$= \text{২৮৮} \times \text{১০}^{\text{৬}} \text{ ক্যালরি।}$$

৫৩৬ ক্যালরি তাপ ১ গ্রাম জলকে বাষ্পীভূত করে।

∴ ২৮৮×১০⁶ ক্যালরি তাপ $\left(\frac{২৮৮\times ১০^৬}{৫৩৬}=\right)$৫৩৭৩১৩'৪ গ্রাম জলকে বাষ্পীভূত করিবে।

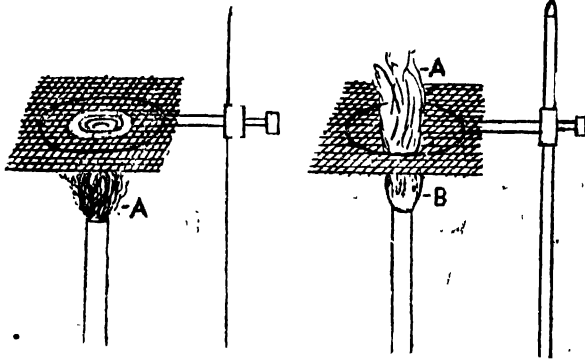
১১৫। তরলের পরিবাহিতা ঃ পারদ ও গলিত ধাতু ব্যতীত সকল তরলই তাপের কুপরিবাহী। তরলে পরিচলন স্রোতের জন্য ও পাত্রের গাত্রের মধ্য দিয়া তাপ পরিবহনের জন্য তরলের পরিবাহিতা মাপ করা শক্ত।

১১৬। জলের নিম্ন পরিবাহিতা (Low Conductivity): পরীক্ষা ঃ একটি পাতলা কাচের দীর্ঘ ও সরু পরীক্ষানলের প্রায় সবটাই জলে ভর্তি কর। এক টুকরা বরফ তামার তারে জড়াইয়া উহাকে ভারী করিয়া জলের তলায় ডুবাইয়া দাও যাহাতে বরফ জলে না ভাসে। এখন পরীক্ষানলকে কাত করিয়া ধরিয়া নলের উপর অংশ কিছুক্ষণ বুনসেন দীপে গরম কর। উপবের জল ফুটিতে থাকিবে কিন্তু নীচের বরফ গলিবে না। অর্থাৎ জল তাপের কুপরিবাহী বলিয়া তাপ উপরের জল হইতে নীচে আসিতে অনেক সময় লয়। উপরের জল গরম হওয়ায় পরিচলন স্রোতের উৎপত্তি হয় না।

১১৭। গ্যাসের পরিবাহিতা ঃ হাইড্রোজেন ও হিলিয়াম ব্যতীত সমস্ত গ্যাসই অত্যন্ত কুপরিবাহী। বায়ুর K = '০০০০৫৬.

১১৮। কুপরিবাহী ও সুপরিবাহীর দৃষ্টান্ত ঃ (ক) একটি পাতলা কাগজের পাত্রে জল রাখিয়া আগুনে জলকে ১০০°C উষ্ণতায় ফুটানো যায়। কাগজ পোড়ে না। কিন্তু মোটা কাগজের পাত্রে জল ফুটাইতে যাইলে কাগজ পুড়িয়া যাইবে। পাতলা কাগজের মধ্য দিয়া তাপ তাড়াতাড়ি জলে চলিয়া যায়। মোটা কাগজের মধ্য দিয়া তাপ তাড়াতাড়ি যাইতে পারে না এবং ফুটন্ত জলের উষ্ণতা ১০০°Cর বেশী উঠে, কাগজ পুড়িয়া যায়। কাগজ তাপের কুপরিবাহী।

(খ) তারের জাল (Wire-gauze) ধাতুনির্মিত বলিয়া তাপের সুপরিবাহী। গ্যাস-দীপের শিখার উপর তারের জাল ধরিলে জালের নীচে গ্যাস জ্বলে (A), উপরে গ্যাস জ্বলে না। শিখার তাপ জালের মধ্য দিয়া এত দ্রুত পরিবাহিত হয় ও বায়ুতে ছড়াইয়া পড়ে যে জালের উপরের গ্যাস জ্বলনাঙ্ক (ignition

temperature) পর্যন্ত পৌছিবার জন্য উপযুক্ত তাপ পায় না। কিন্তু জালের উপর জলন্ত কাটি ধরিলে গ্যাস জলিয়া উঠিবে (৪৪নং চিত্র)। ইহাতে বোঝা যায় যে জালের উপরও গ্যাস-প্রবাহ আছে। আবার দীপের একটু উপরে জাল ধরিয়া গ্যাস খুলিয়া দিয়া জালের উপর গ্যাস জ্বালিলে উপরোক্ত কারণে শিখা

৪৪নং চিত্র ৪৫নং চিত্র

জালের উপরে দেখা যাইবে (A) শিখা নীচে আসিবে না। জালের নীচে জলন্ত কাটি ধরাইলে গ্যাস নীচেও জলিবে। (৪৫নং চিত্র)

(গ) **Davyর নিরাপত্তা বাতি** (Safety Lamp): কয়লা খনিতে অনেক সময় মার্স গ্যাস (marsh gas) উৎপন্ন হইয়া বায়ুর সঙ্গে মিশিয়া যায়। এই মিশ্রণে অগ্নি সংযোগ হইলে ভীষণ বিস্ফোরণ হয়। অথচ কয়লা খনিতে অন্ধকারে সব সময়েই আলোর দরকার। এই কারণে কয়লা খনির জন্য আলো নির্মাণে তারের জালির উপরোক্ত সুপরিবাহিতা গুণের সুযোগ লওয়া হয়। সাধারণ আলোয় কাচের চিমণির পরিবর্তে এক বা দুই স্তর মোটা লোহার বা তামার তারের ঠাস্‌বুনান জাল ব্যবহার করা হয়। খনিতে মার্স গ্যাস ও বায়ুর মিশ্রণ সামান্য পরিমাণে জালের মধ্য দিয়া আলোর ভিতরে যায় এবং নীল শিখায় জলিতে থাকে কিন্তু তারের মধ্য দিয়া শিখার তাপ শীঘ্র শীঘ্র পরিবাহিত হয় বলিয়া বাহিরের গ্যাস জলনাঙ্ক

৪৬নং চিত্র

পর্যন্ত উত্তপ্ত হয় না, কোন বিস্ফোরণ হয় না। নীল শিখা মার্স গ্যাসের অস্তিত্ব সম্বন্ধে সতর্ক করিয়া দেয়।

(ঘ) **শৈত্য ও তাপের অনুভূতি ঃ** পদার্থের উষ্ণতা ও পরিবাহিতা দুইয়ের উপরে শৈত্য ও তাপের অনুভূতি নির্ভর করে। ঘরে একই উষ্ণতায় বিভিন্ন পদার্থ যথা মার্বেল, লোহা, কাঠ, ফ্লানেল থাকিলে এবং হাতের উষ্ণতা ইহাদের উষ্ণতার চেয়ে বেশী হইলে হাতে কাঠ ও ফ্লানেল অপেক্ষা লোহা ও মার্বেল বেশী শীতল বোধ হইবে কারণ লোহা ও মার্বেল তাপের সুপরিবাহী বলিয়া ইহারা হাত হইতে শীঘ্র শীঘ্র বেশী তাপ পরিবহন করিবে। যদি হাতের উষ্ণতা উপরোক্ত পদার্থের উষ্ণতার চেয়ে কম হয় তবে লোহা ও মার্বেল বেশী উত্তপ্ত বলিয়া বোধ হইবে কারণ লোহা ও মার্বেল হইতে হাতে শীঘ্র শীঘ্র তাপ আসিবে। একই কারণে সিমেন্টের মেঝে অপেক্ষা মার্বেলেব মেঝে হাতে বেশী শীতল বোধ হইবে যদিও উহারা একই উষ্ণতায় থাকে। একই কারণে একখণ্ড লোহা ও একখণ্ড কাঠ রৌদ্রে অনেকক্ষণ পড়িয়া থাকিলে লোহা অত্যন্ত বেশী গরম বোধ হইবে। একই কারণে গরম করিবার ধাতব পাত্রে (যথা কেট্‌লি, কুকার) কাঠের হাতল লাগান থাকে। হাতল ধরিলে হাতে তাপ লাগে না। বরফ যাহাতে বাহিরের বায়ুর তাপে না গলে সেইজন্য বরফকে করাতের গুড়া বা কম্বলে ঢাকা হয়। মনে রাখিবে তাপের কুপরিবাহী দ্রব্য বাহিরের তাপকে ভিতরে আসিতে দেয় না এবং ভিতরের তাপকে বাহিরে যাইতে দেয় না।

১১৯। **তরলের পরিচলন ঃ পরীক্ষা ঃ** (Hot water heating apparatus) ঃ একটি ফ্লাস্ক C ও একটি দুই মুখ খোলা আধার E দুইটি নল AB ও D দিয়া যোগ করা হইয়াছে। আধারের নীচের মুখে ও ফ্লাস্কের মুখে কর্ক আছে। D নলটি সোজা, AB নলটি চারবার সমকোণে বাঁকান। D নল ফ্লাস্কের উপর অংশ হইতে আধারের উপর অংশ পর্যন্ত এবং AB নল আধারের নিম্ন হইতে ফ্লাস্কের নিম্ন অংশ পর্যন্ত গিয়াছে। সমস্ত যন্ত্রকে জলে ভর্তি কর। আধারে একটু নীল রং দাও। ফ্লাস্ককে গরম কর। ফ্লাস্কের জল গরম ও হাল্‌কা হইয়া D নল দিয়া আধারে যাইবে এবং আধার হইতে

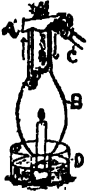
৪৭নং চিত্র

AB নল দিয়া রংভিন শীতল ও ভারী জল ফ্লাস্কে আসিবে। এইরূপ চলিবে যতক্ষণ না জল ফুটিতে থাকে। এই নীতিতে শীতপ্রধান দেশে অট্টালিকা উষ্ণ রাখা হয়। অট্টালিকার নিম্নদেশে একটি বয়লার হইতে **উষ্ণ জল পরিচলন ক্রিয়ায়** নল দিয়া অট্টালিকার মাথায় একটি আধারে যায় তথা হইতে ধাতব নল দিয়া বিভিন্ন গৃহে যায়, তথা হইতে অপর নল দিয়া বয়লারে ফিরিয়া আসে। পুনরায় এই জল উষ্ণ হইয়া উপরে উঠে। এই যন্ত্রে তিন রকম তাপের চলাচলের দৃষ্টান্ত পাওয়া যায়:—পরিবহন ক্রিয়ায় তাপ চুল্লী হইতে বয়লারে এবং তথা হইতে জলে যায়। পরিচলন ক্রিয়ায় জল নলের মধ্য দিয়া উপরে উঠে ও নীচে নামে। তাপ গরম জল হইতে পরিবহন ক্রিয়ায় নলের বহির্ভাগে আসে। নলের বহির্ভাগ হইতে তাপ কতকটা বিকিরণে ঘরে ছড়াইয়া পড়ে এবং কতকটা বায়ুর দ্বারা পরিচলনে উষ্ণতা বৃদ্ধি করে।

১২০। **গ্যাসের পরিচলন**: (ক) কারখানার চুল্লীর চিম্‌নি বা আলোর চিমনির মধ্য দিয়া গরম বায়ু ও ধোঁয়া হাল্‌কা হইয়া উপরে উঠিয়া যায় এবং চুল্লীর আলোর নীচের ছিদ্র দিয়া বাহির হইতে শীতল ও ভারী বায়ু চুল্লীতে বা আলোয় ঢোকে। এইরূপে একটি বায়ুর পরিচলন স্রোতের সৃষ্টি হয় এবং বায়ু হইতে আগুণের জ্বলিবার অক্সিজেন সরবরাহ হয়। নীচের ছিদ্র বন্ধ করিলে অক্সিজেনের অভাবে আগুণ জ্বলিবে না। চিমনি সরাইয়া লইলে (১) বায়ু চলাচল ভালভাবে চলে না, Carbon-dioxide বিতারিত হয় না এবং (২) চারিদিক হইতে শীতল বায়ু আসিয়া শিখার উষ্ণতা কমাইয়া দেয়।

পরীক্ষা: (ক) একটি D বাটিতে জ্বলন্ত বাতি রাখিয়া বাটিতে জল ঢাল। বাটিতে একটি B চিমনি রাখ যাহাতে বাতিটি চিমনির মাঝখানে থাকে। জলের জন্য নীচে হইতে চিমনিতে বায়ু ঢোকে না। অক্সিজেনের অভাবে বাতি ক্রমে ক্রমে ক্ষীণপ্রভ হইয়া শেষে নিভিয়া যায়।

(খ) বাতি পুনরায় জ্বাল। চিমনির মুখে মাঝামাঝি একটি T আকারের মোটা কার্ডবোর্ড A রাখ, শিখা জ্বলিতে থাকে। কেন? কার্ডবোর্ড চিমনির উপর অংশকে দুইভাগে ভাগ করে, একভাগ দিয়া বাহিরের শীতল বায়ু চিমনির ভিতরে ঢোকে। অপর ভাগ দিয়া ভিতরের উষ্ণ বায়ু বাহিরে আসে

অতএব চিমনিতে দুইটি বায়ুস্রোতের সৃষ্টি হয়। একটি অন্তর্মুখী নিম্নগামী, অপরটি বহির্মুখী ঊর্ধ্বগামী। একখণ্ড আগুণে ধূমায়মান (smouldering) কাগজ C চিমনির উপর ধরিলে ধোঁয়া কার্ডবোর্ডের একদিক দিয়া চিমনির ভিতর ঢুকিবে, অপর দিক দিয়া সেই ধোয়া বাহিরে আসিবে। কার্ডবোর্ড দিয়া চিমনিতে বায়ু চলাচল সৃষ্টি হয়।

৪৮নং চিত্র

(খ) **ঘরে বায়ু চলাচল** (Ventilation): ঘরে বেশী লোক থাকিলে বা আগুণ জ্বলিলে ঘরের বায়ু উষ্ণ ও বিষাক্ত হয়। এই উষ্ণ বায়ু উপরের দিকে উঠে। ঘরের নীচের দিকে জানালা কপাট দিয়া শীতল ভারী বিশুদ্ধ বায়ু ঘরে ঢোকে এবং ঘরের উপর দিকে ছিদ্র বা ঘুলঘুলি দিয়া উষ্ণ হাল্‌কা ও বিষাক্ত বায়ু বাহিরে যায়। এইভাবে ঘরের মধ্য দিয়া বায়ুর পরিচলন স্রোত চলিতে থাকে।

(গ) **গ্যাস ভর্তি তড়িৎ বালব্‌** (Gas filled bulb):—তড়িৎ বাল্‌বে নিষ্ক্রিয় (inert) গ্যাস ভর্তি থাকে। ইহাতে দুইটি উদ্দেশ্য সাধিত হয়: এই গ্যাস বালবের নীচের অংশের সরু ধাতব তারের (filament) তাপকে ও ধাতবকণাকে পরিচলন ক্রিয়ায় বাল্‌বের উপরের দিকে লইয়া যায়। ইহাতে তারের উষ্ণতা বৃদ্ধি হয় না, তারের গলিবার আশঙ্কা থাকে না এবং ধাতব কণার দ্বারা সমস্ত বাল্‌বটা কালো হয় না।

(ঘ) **গরম বস্ত্র**: কোন বস্ত্রই একই উষ্ণতায় অন্যান্য দ্রব্যের চেয়ে গরম বা শীতল হয় না যদিও আমরা ফ্লানেল ও পশম বস্ত্রকে 'গরম্‌ বস্ত্র' বলি। বস্ত্রের মধ্য দিয়া তাপ চলাচলের দ্রুততার উপর বস্ত্রের তাপরক্ষণ ক্ষমতা নির্ভর করে। ইহা তিনটি বিষয় দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়:—(ক) পশম, সুতা, ফ্লানেল, পশুর লোম (fur) তাপের কুপরিবাহী। শীতকালে শরীরের তাপ ইহাদের মধ্য দিয়া সহজে বাহিরে যায় না। ইহাতে আমরা গরম বোধ করি। (খ) এই সব দ্রব্য আঁশ দিয়া আল্‌গাভাবে বুনান থাকে বলিয়া বস্ত্রের মধ্যে অনেক বায়ু থাকিয়া যায়। এই বায়ু আঁশের মধ্যে আবদ্ধ থাকে বলিয়া স্থির অবস্থায় থাকে কাজেই বায়ুতে পরিচলন স্রোত বহিতে পারে না। আবার বায়ু তাপের কুপরিবাহী সেইজন্য শরীরের তাপ বায়ুর মধ্য দিয়া পরিচলন কিংবা পরিবহন

কোন উপায়ে চলিয়া যায় না। আমরা গরম বোধ করি। বায়ু যদিও তাপের কুপরিবাহী কিন্তু খালি দেহের চারিপাশের বায়ু কখনও স্থির থাকে না, পরিচলনে সর্বদাই চঞ্চল থাকে। একস্তর বায়ু দেহের তাপ লইয়া অপসারিত হয়, আবার নূতন শীতল বায়ু দেহের চারিপাশে আসে। এই নূতন বায়ুও দেহের তাপ লইয়া অপসারিত হয়। যদি দেহের চারিপাশের বায়ু স্থির থাকিত তবে শীতকালে তাপ নিবারণের জন্য কোন বস্ত্রের প্রয়োজন হইত না। আবার যেখানে বায়ু বহে সেখানকার জন্য ঠাস্ বুনান বস্ত্র শীত নিবারণ করে। সেইজন্য বিমান চালক ঠাস বুনান বস্ত্র ব্যবহার করে। সূতার ও পশমের পরিবাহিতা প্রায় এক কিন্তু পশমের আঁশ খুব আল্‌গা ভাবে থাকে এবং পশমের বস্ত্রের ফাঁকে ফাঁকে বেশী বায়ু থাকে সেইজন্য সূতী বস্ত্রের চেয়ে পশম বস্ত্র বেশী তাপ নিবারক। একই কারণে এক ইঞ্চি পুরু একটি জামার চেয়ে আধ ইঞ্চি পুরু দুইটি জামায় বেশী গরম বোধ হয়।

১২১। **বায়ু প্রবাহ :**—বায়ুমণ্ডলে নানা কারণে উষ্ণতার ও আর্দ্রতার পার্থক্য হয়। উষ্ণ ও বাষ্পপূর্ণ বায়ু হাল্‌কা হইয়া উপরে উঠিয়া যায়, তাহার স্থানে শীতল ও শুষ্ক বায়ু প্রবাহিত হয়। এইরূপে প্রকৃতিতে বায়ু-প্রবাহের সৃষ্টি হয়, যথা স্থল-বায়ু, জল-বায়ু, মৌসুমী বায়ু, আয়ন বায়ু।

১২২। **বিকিরণের প্রকৃতি** (Nature of Radiation) : (ক) **ইথার** (Ether) : আমরা জানি ৯২০ লক্ষ মাইল দূরের সূর্য হইতে তাপ বিকিরণ প্রণালীতে আমাদের নিকট পৌছায়। পৃথিবীর পৃষ্ঠ হইতে কিছুদূর পর্যন্ত বায়ুমণ্ডল আছে। তবে সূর্য হইতে কোন্ মাধ্যমে আমাদের নিকট তাপ আসে ? বৈজ্ঞানিকগণ মনে করেন সমস্ত ব্রহ্মাণ্ড একটি নিরবচ্ছিন্ন (continuous) স্থিতিস্থাপক ওজনশূন্য মাধ্যম দিয়া পূর্ণ। ইহার নাম **ইথার**। ইহা আণবিক ফাঁকের মধ্যেও আছে।

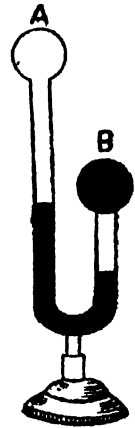
(খ) **ইথার তরঙ্গ** (Ether Waves) : পুকুরের জলে একটি ঢিল ফেলিলে চারিদিকে তরঙ্গ উঠে। সেইরূপ কোন দ্রব্য উত্তপ্ত হইলে অণুগুলি দ্রুত বেগ প্রাপ্ত হয়। এই গতিশীল অণুর প্রবল ধাক্কায় ইথারে **তির্য্যক তরঙ্গ** (transverse wave) উত্থিত হইয়া প্রবলবেগে (১৮৬,০০০ মাইল

প্রতি সেকেণ্ডে) চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে। যখন এই তরঙ্গগুলি কোন দ্রব্যে আঘাত করে তখন তাহার অণুগুলি ও বর্ধিত বেগ প্রাপ্ত হয়। ইহাতে সেই দ্রব্য উত্তপ্ত হয়। মনে রাখিবে তাপের উৎসতে এই শক্তি তাপরূপে প্রকাশিত হয়, আবার যে দ্রব্যে আঘাত করে সেই দ্রব্যে এই শক্তি তাপরূপে দেখা দেয় কিন্তু মাঝখানে ইথারের মাধ্যম দিয়া যখন আসে তখন ইহা ইথারে তরঙ্গের গতি সম্পর্কিত শক্তিরূপে প্রকাশিত হয়। তখন ইহা তাপশক্তি রূপে থাকে না। বর্তমান বৈজ্ঞানিকগণ এই তরঙ্গকে তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ (electro magnetic waves) মনে করেন। শক্তির রূপান্তরচক্র এইরূপ হইবে :—

ক পদার্থের তাপ→অণুরগতি→ইথার তরঙ্গের প্রবলবেগে গতি→খ পদার্থে অণুর কমবেগে গতি→তাপ বা আলো।

(গ) **বিকীর্ণ শক্তি** (Radiant Energy) :—ইথার তরঙ্গের মাধ্যম দ্বারা যে শক্তি পরিচালিত হয় তাহাকে **বিকীর্ণ শক্তি** বলে। যেমন সমুদ্র বক্ষে ছোট তরঙ্গ ও বড় তরঙ্গ উত্থিত হয় তেমন ইথার সমুদ্রে ছোট তরঙ্গ ও বড় তরঙ্গ উত্থিত হয়। তরঙ্গের আবৃত্তির (frequency) অর্থাৎ প্রতি সেকেণ্ডে স্পন্দনের সংখ্যার ও তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের (wave length) উপর বিকীর্ণ শক্তির প্রকৃতি নির্ভর করে। মনে রাখিবে স্পন্দনের সংখ্যা বাড়িলে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কম হয়। তরঙ্গ প্রতি সেকেণ্ডে $৩·৭৫ \times ১০^{১৪}$ হইতে ৭৫×১০^{১৪} বার স্পন্দন করিলে বিকীর্ণ শক্তি **আলোক শক্তিরূপে** প্রকাশিত হয়। ইহাদের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ৮০×১০^{-৬} হইতে ৪০×১০^{-৬} সেঃ মিঃ এই সীমার মধ্যে থাকে। তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ৮০×১০^{-৬} হইতে ·০৩ সেঃ মিঃ এর মধ্যে থাকিলে বিকীর্ণ শক্তি **তাপরূপে** প্রকাশিত হয়। বেতার (wireless) তরঙ্গের দৈর্ঘ্য ·০১ সে মিটার হইতে কয়েক মাইল পর্যন্ত হয়। আলোক তরঙ্গের চেয়ে অতিবেগুণি (ultra violet ৪০×১০^{-৬} হইতে $১·৪ \times ১০^{-৬}$ সেঃ মিঃ), X-ray ($১০^{-৬} - ৬ \times ১০^{-১০}$), গামারশ্মি, নভোরশ্মির (Cosmic rays) তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ক্রমশঃ কমিয়া গিয়াছে। অন্ধকার ঘরে কম উষ্ণতার জিনিষ দেখা যায় না, তখন ইহা কেবল তাপশক্তি বিকিরণ করে। যখন জিনিষের উষ্ণতা খুব বাড়িয়া যায় অর্থাৎ অণুগুলি খুব প্রবলবেগ প্রাপ্ত হয় তখন তরঙ্গের আবৃত্তি বাড়িয়া যায়, পদার্থ আলোশক্তি ও তাপশক্তি দুইই বিকিরণ করে।

(ঘ) Diathermanous ও Adiathermanous দ্রব্য : যে সকল দ্রব্যের মধ্য দিয়া বিকীর্ণ তাপের প্রায় সবটাই চলিয়া যায় তাহাদিগকে Diathermanous দ্রব্য বলে, যথা শূন্য স্থান, শুষ্ক বায়ু প্রভৃতি এইরূপ দ্রব্য। যে সকল দ্রব্যের মধ্য দিয়া বিকীর্ণ তাপের সবটাই শোষিত হয় তাহাদিগকে Adiathermanous দ্রব্য বলে, যথা ধাতু, কাঠ। (স্বচ্ছ ও অস্বচ্ছ দ্রব্যের সঙ্গে তুলনা কর।)

১২৩। বিকীর্ণ তাপ (Radiant heat) **পরীক্ষা** (test) **:** (ক) **ইথার (Thermoscope) তাপবীক্ষণ :** দুইটি কাচের বায়ুশূন্য বাল্‌ব A ও B একটি বাঁকা নল দিয়া জোড়া থাকে। বাল্‌বের মধ্যে কিছু রংগিন ইথার ও ইথার বাষ্প থাকে। B বাল্‌ব কাল রংগে ঢাকা থাকে। কাল রং খুব বেশী বিকীর্ণ তাপ শোষণ করে। বিকীর্ণ তাপ কাল বালবে পড়িলে ইহা তাপ শোষণ করিয়া উত্তপ্ত হয়। ভিতরের ইথারও উত্তপ্ত হয়। ইথার বাষ্পের চাপ বাড়ে। অপর বাহুতে ইথারের তল উপরে উঠে। এই যন্ত্র দিয়া বিকীর্ণ তাপ মোটামুটি তুলনা যায়।

৪৯নং চিত্র

(খ) **Thermopile** দ্বারা বিকীর্ণ তাপ মাপা যায়। দুইটি বিভিন্ন ধাতুর তারের (যথা তামা ও লোহা) প্রত্যেক দুই প্রান্ত জোড়া লাগাইয়া দুই জোড়া প্রান্তকে বিভিন্ন উষ্ণতায় রাখিলে তাদের মধ্যে বিদ্যুৎ প্রবাহ উৎপন্ন হইবে। বর্তনীর (circuit) মধ্যে একটি গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার রাখিলে কাঁটার বিক্ষেপ (deflection) $\propto$ বিদ্যুতের পরিমাণ $\propto$ দুই প্রান্তের উষ্ণতার পার্থক্য। আবার উষ্ণতার পার্থক্য বিকীর্ণ তাপের সমানুপাতিক হয়। (তড়িৎ খণ্ডে দ্রষ্টব্য)।

১২৪। বিকীর্ণ তাপ ও আলোর তুলনা ঃ বিকীর্ণ তাপ ও আলো একই বিকীর্ণ শক্তির বিভিন্ন রূপ। ইহাদের প্রকৃতি এক, কেবল ইহাদের তরঙ্গের আবৃত্তি বা তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বিভিন্ন হয়। উভয়েই একই নিয়ম মানে। উভয়ের মধ্যে নিম্নলিখিত সাদৃশ্য দেখা যায় :—(আলোকের খণ্ডে আলোকে বিষয় বলা হইয়াছে)।

(ক) বায়ুতে ও বায়ুশূন্য স্থানের মধ্য দিয়া গতি : (ক) উভয়েই বায়ু

শূন্য স্থানের ও বায়ুর মধ্য দিয়া চলে: সূর্য হইতে তাপ ও আলো বায়ুশূন্য স্থানের মধ্য দিয়া আসে। পারদ থার্মমিটারের কুণ্ডকে কাল করিয়া কোন একটি বদ্ধ পাত্রের মুখে রবারের ছিপির মধ্য দিয়া পাত্রের মধ্যে কুণ্ডকে ঢোকাও। পাত্র হইতে বায়ু নিষ্কাশন কর। সমস্ত পাত্রকে রৌদ্রে রাখ। কাল কুণ্ড পাত্রের শূন্য স্থানের মধ্য দিয়া সূর্যতাপ শোষণ করে, সুতরাং থার্মমিটারে উষ্ণতা-বৃদ্ধি দেখা যায়।

(খ) **সরল পথে একই বেগে গতি** (Rectilinear propagation): উভয়েই সরল পথে সেকেণ্ডে ১৮৬০০০ মাইল বেগে চলে। সূর্য গ্রহণের সময়ে যে মুহূর্তে সূর্য ও পৃথিবীর মধ্যে চন্দ্র আসে সেই মুহূর্তেই সূর্যের আলোক ও তাপ রশ্মি বিচ্ছিন্ন হয়। অন্ধকার ও শৈত্য একসঙ্গে উপলব্ধি হয়।

পরীক্ষা: দুইটি সমান মাপের কাঠের পর্দার (screens) ঠিক মাঝখানে ছিদ্র কর। একটি লোহিত তপ্ত (red hot) লোহার বল লও। পর্দা দুইটিকে দূরে দূরে সমান্তরালে রাখ। এক পর্দার ছিদ্রের বিপরীত দিকে লৌহ বল রাখ। অপর পর্দা হইতে অনেকটা দূরে ইথার Thermoscopeএর বালব রাখ। এখন দুই পর্দার ছিদ্র এক রেখায় আনিলে Thermoscopeএর কালো বালবে উষ্ণতা-বৃদ্ধি দেখা যাইবে। ছিদ্র দুইটি এদিক ওদিক হইলে বালবে কিছুই বোঝা যাইবে না। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে বিকীর্ণ শক্তি সরল রেখাক্রমে চলে।

(গ) **চতুর্দিকে সম বিকিরণ** (Uniform radiation): একটি প্রজ্জ্বলিত পদার্থের বিভিন্ন দিকে সমস্বত্ব (homogeneous) মাধ্যমে সম দূরত্বে Thermoscope কিংবা সুবেদী থার্মমিটার রাখিলে একই উষ্ণতা দেখা যাইবে। আবার পদার্থকে সকল দিক হইতে সমুজ্জ্বল দেখাইবে।

(ঘ) **প্রতিফলন** (Reflection): আলোক ও বিকীর্ণ তাপ একই নিয়মানুসারে কোন মসৃণ (polished) তল হইতে প্রতিফলিত হয়:

পরীক্ষা: (১) সমতল পৃষ্ঠে (plane surface) **প্রতিফলন:** একটি মসৃণ চক্‌চকে টিনের পাতকে লম্বভাবে ঝুলাও। দুইটি অনুভূমিক নল টিন পাতের সম্মুখে রাখ। একটি নলের মুখে উত্তপ্ত বল ও অপর নলের মুখে ইথার Thermoscope এর কাল বাল্‌ব রাখ। বাল্‌ব ও বলের মধ্যে পর্দা

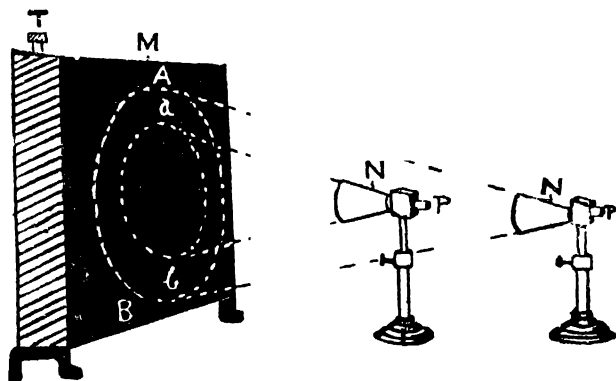
রাখ যাহাতে বল হইতে কোন বিকীর্ণ তাপ রশ্মি সোজাসুজি বাল্‌বে না পড়ে। নল দুইটিকে অনুভূমিক তলে ঘুরাইয়া এমন অবস্থায় আন যে Thermoscope এর বাল্‌বে সর্বোচ্চ উষ্ণতা দেখা যায়। এখন দেখা যাইবে টিন পাতের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব হইতে দুই নলের নতি (inclination) সমান হয়। বল হইতে বিকীর্ণ তাপ-রশ্মি নলেব মধ্য দিয়া পাতের উপর পড়িয়া প্রতিফলিত হইয়া অপর নল দিয়া বাহির হইয়া বাল্‌বে পড়ে।

(২) **গোলীয় পৃষ্ঠে** (Spherical surface) **প্রতিফলন : পরীক্ষা :** দুই বড় গোলীয় ধাতব অবতল দর্পণ (concave mirror) মুখোমুখি কিছু দূরে দূরে রাখ। যদি একটি উত্তপ্ত লৌহ বলকে যে কোন একটি দর্পণের ফোকাসে রাখা হয় তবে অপব দর্পণেব ফোকাসে একখণ্ড ফস্‌ফরাস রাখিলে উহা জ্বলিয়া উঠিবে কিংবা Thermoscope রাখিলে উষ্ণতা-বৃদ্ধি দেখা যাইবে, যেমন একটির ফোকাসে আলো রাখিলে অপরটির ফোকাসে তার প্রতিবিম্ব উৎপন্ন হয়।

(ঙ) **প্রতিসরণ** (Refraction) **:** সূর্যের দিকে মুখ করিয়া যদি কোন উত্তল (convex) লেন্স ধরা যায় তবে আলোক রশ্মির মত তাপরশ্মি লেন্সে পড়িয়া প্রতিসৃত হইয়া মুখ্য (principal) ফোকাসে কেন্দ্রীভূত হইবে। মুখ্য ফোকাসে কাগজ, তুলা ধরিলে উহা পুড়িয়া যাইবে। এই পরীক্ষা প্রমাণ করে যে আলোক ও তাপ-রশ্মি একই নিয়মে প্রতিসৃত হয়।

(চ) **ব্যস্তানুপাতিক বর্গসূত্র** (Law of Inverse Squares) **:** কোন বিন্দুতে পতিত বিকীর্ণ তাপ ও আলোকের মাত্রা সেই বিন্দুর আলোক বা তাপের উৎস হইতে দূরত্বের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক হয়। উৎস হইতে কোন বিন্দুর চারি পাশে এক একক ক্ষেত্রফলে সমভাবে (uniformly) পরিব্যপ্ত ও অভিলম্ব ভাবে পতিত আলোক বা তাপ শক্তিকে আলোর বা তাপের **মাত্রা** (intensity) বলে।

পরীক্ষা : একটি বড় আয়তক্ষেত্রিক টিনের বাক্স M লও। এক তলে (চিত্রে সম্মুখ তল) কাল রং মাখাও। T প্যাচকল খুলিয়া বাক্স ফুটন্ত জলে ভর্তি করিয়া কাল তলকে একই উষ্ণতায় রাখ। একটি P থার্মপাইলের সঙ্গে

ধাতব শঙ্কু N (cone) জুড়িয়া দাও। শঙ্কুর মুখটা বাক্সের কাল তলের দিকে করিয়া থার্মপাইলকে বাক্সের কাছাকাছি রাখ। গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারে কাঁটার বিক্ষেপ (deflection) লক্ষ্য কর। এবার বাক্স হইতে দ্বিগুণ দূরত্বে থার্মপাইলকে লইয়া যাও। গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারে কাঁটার বিক্ষেপ একই থাকে। এই পরীক্ষা হইতে নিম্নলিখিত বিষয়গুলি প্রমাণিত হয়: (ক) শঙ্কু ও বাক্সের মধ্যে দূরত্ব দ্বিগুণ বাড়িলে বাক্সের কাল তলের যে অংশ হইতে তাপ বিকীর্ণ হয় তাহার ক্ষেত্রফল (AB) চার গুণ বাড়ে সুতরাং তলের প্রত্যেক বিন্দু হইতে প্রাপ্ত বিকীর্ণ তাপের মাত্রা কমে। কিন্তু শঙ্কু দ্বারা প্রাপ্ত মোট বিকীর্ণ তাপ

৫০নং চিত্র

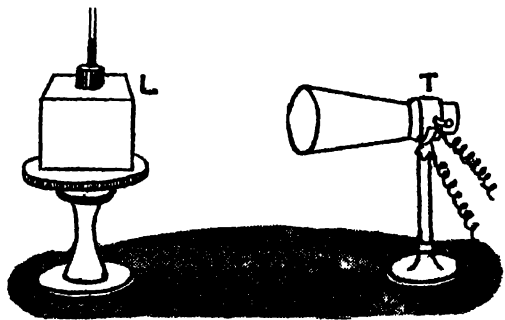
দুই ক্ষেত্রে সমান থাকে। ইহা উপরোক্ত দুইটি বিষয়ের গুণফলের উপর নির্ভর করে সুতরাং কোন বিন্দু হইতে প্রাপ্ত বিকীর্ণ তাপের মাত্রা $\propto$ বৃত্তের ক্ষেত্রফল $\propto$ শঙ্কু ও বাক্সের মধ্যে দূরত্বের বর্গমূল। (খ) কাঁটার বিক্ষেপ যখন সমান থাকে তখন শঙ্কুর ক্ষেত্রফলে পতিত মোট তাপ শক্তি সমান থাকে এবং শঙ্কুর ক্ষেত্রফলও বদ্‌লায় না। সুতরাং শঙ্কুর প্রতি একক ক্ষেত্রফলে তাপের পরিমাণ সিকি হয়। (আলোর খণ্ড দেখ)

(ছ) **প্রিজমের মধ্য দিয়া বিচ্ছুরণ** (dispersion) এবং **বিসরণ** (deviation): সূর্যালোক খনিজ লবণের প্রিজমের উপর পড়িলে অপর দিকে একটি সাতবর্ণের বর্ণালি (spectrum) পাওয়া যায়। বর্ণালির বেগুণি (violet)

দিক হইতে থার্মপাইলকে ক্রমশঃ সরাইয়া লোহিতের দিকে লইয়া যাইলে গ্যালভ্যানোমিটারের কাঁটার বিপেক্ষ বাড়িয়া যাইবে।

(জ) উৎপাদন প্রণালী—কোন ধাতুকে প্রথমে উত্তপ্ত করিলে প্রতি সেকেণ্ডে ইহার অণুর গতির দ্বারা উৎপন্ন ইথার তরঙ্গের সংখ্যা কম থাকে বলিয়া তরঙ্গগুলি আমাদের কেবল স্পর্শ অনুভূতিকে জাগায় কিন্তু দৃষ্টি অনুভূতিতে সাড়া জাগায় না। আমরা শুধু তাপ পাই, আলো পাই না। ধাতুর উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে অণুর বেগ বৃদ্ধি পায় এবং তরঙ্গ সংখ্যাও বৃদ্ধি পায়। তখন তরঙ্গের বর্ধিত আবৃত্তি আমাদের স্পর্শ অনুভূতিকে জাগায় এবং দৃষ্টি অনুভূতিকেও জাগায়। আমরা তাপ ও আলো দুইই পাই। তরঙ্গ আবৃত্তির মাপের সীমা পূর্বেই দেওয়া হইয়াছে।

অতএব এই সকল পরীক্ষা হইতে দেখা যায় **বিকীর্ণ তাপ অদৃশ্য আলোক** (Radiant heat is invisible light)। আলোর মত বিকীর্ণ তাপ কোন দ্রব্যে পড়িলে ইহার খানিকটা প্রতিফলিত হয়, খানিকটা প্রতিসৃত হয়, খানিকটা বিক্ষিপ্ত (diffused) হয়, খানিকটা শোষিত হয়।

১২৫। বিকিরণ ক্ষমতা (Emissive বা Radiating Power): উত্তপ্ত পদার্থের বহির্তল (surface) হইতে তাপ শক্তি নির্গত হইয়া তরঙ্গের গতিতে পরিণত হয়। পরীক্ষায় দেখা যায় একই উষ্ণতায় থাকিলেও কোন পদার্থের বিকিরণ ক্ষমতা বিভিন্ন তলের প্রকৃতির উপর বিশেষতঃ রঙের উপর নির্ভর করে।

৫১নং চিত্র

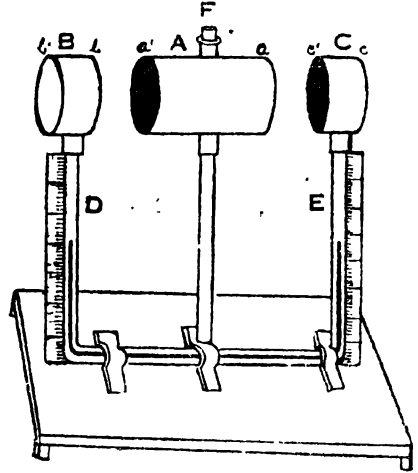
পরীক্ষা :—একটি টিনের ফাঁপা ঘনক L লও। এই ঘনকের পর পর দুইটি পার্শ্বতল কাল ভুসা ও সাদা রং এ রঞ্জিত কর। তৃতীয় তল অমসৃণ এবং চতুর্থ তল মসৃণ রাখ। ঘনকের উপরের ছিদ্র দিয়া

গরম জল ঢাল। ছিদ্র মুখে কর্কের মধ্য দিয়া থার্মমিটার ঢুকাও। ঘনককে টুলের উপর রাখ। বিকীর্ণ তাপ মাপিবার জন্য গ্যাল্‌ভ্যানোমিটার যুক্ত থার্মপাইলকে ঘনক হইতে একটু দূরে রাখ। এখন ঘনকের প্রত্যেক তলকে থার্মপাইলের শঙ্কুর মুখের দিকে ঘুরাইয়া প্রত্যেকবার একই সময় ও একই দূরত্বে রাখ। গ্যাল্‌ভ্যানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপ প্রত্যেক তলের বিকিরণ ক্ষমতার সমানুপাতিক হয় এবং সমস্ত তলই একই উষ্ণতায় থাকে। পরীক্ষা হইতে দেখা যায় যে কাঁটার বিক্ষেপ কাল রঙের তলের বিকিরণে সর্বাপেক্ষা বেশী এবং মসৃণ তলের বিকিরণে সর্বাপেক্ষা কম। কাল ভুসা সর্বাপেক্ষা ভাল বিকিরক। ভুসামাখান তলের বিকিরণ ক্ষমতাকে অন্য পদার্থের বিকিরণ ক্ষমতা নির্ধারণে মাপ-কাঠি হিসাবে ব্যবহার করা হয়। এই ঘনককে Leslie's ঘনক (cube) বলে।

কোন নির্দিষ্ট সময়ে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোন তল কর্তৃক বিকীর্ণ তাপের পরিমাণের (e) সহিত একই সময়ে একই উষ্ণতায় একই ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট কোন সম্পূর্ণ কাল তল কর্তৃক বিকীর্ণ তাপের পরিমাণের (E) যে অনুপাত তাহাকে প্রথমোক্ত তলের **বিকিরণ ক্ষমতা** (α) বলে। $\therefore \quad \alpha = \frac{e}{E} \cdots$(৪৯)

১২৬। বিকীর্ণ তাপ শোষণ (Absorption of Radiant heat): যখন বিকীর্ণ তাপ কোন শীতল তলে পতিত হয় তখন এই তল তাপ শোষণ করে এবং ইহার উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়। তলের উষ্ণতা, তলের প্রকৃতি ও ইথার তরঙ্গের দৈর্ঘ্যের উপর শোষিত তাপের পরিমাণ তথা পদার্থের উষ্ণতা-বৃদ্ধি নির্ভর করে। কোন তলে নির্দিষ্ট সময়ে শোষিত বিকীর্ণ তাপের পরিমাণের সহিত সেই তলে মোট পতিত বিকীর্ণ তাপের পরিমাণের যে অনুপাত তাহাকে **তলের শোষণ-ক্ষমতা** বলে। একই উষ্ণতায় থাকিলেও বিভিন্ন পদার্থ বিভিন্ন পরিমাণে তাপ শোষণ বা বিকিরণ করে।

১২৭। বিকিরণ ও শোষণ ক্ষমতার সম্বন্ধ: যে কোন তরলের শোষণ ক্ষমতা ও বিকিরণ ক্ষমতা সমানুপাতিক হয়।

রিচির (Ritche) পরীক্ষা ঃ B ও C দুইটি বায়ুপূর্ণ সমান আয়তনের চোঙাকৃতি ধাতব পাত্র। দুইবার সমকোণে বাঁকান একটি ED কাচ নল পাত্র দুইটিকে যোগ করিয়াছে। ED নলে কিছু রঙিন তরল আছে। C ও B এর মধ্যে একটি বড় চোঙ A বসানো আছে। A চোঙের *a′* মুখ ও C পাত্রের *c′* মুখ কাল রং করা। *a* ও *b* মুখগুলি মসৃণ। সকল মুখের ক্ষেত্রফল সমান। A চোঙে F নল দিয়া গরম জল ঢাল। *a* ও *a′* তল উষ্ণ বলিয়া তাপ বিকিরণ করিবে। *b* ও *c′* তল শীতল বলিয়া বিকীর্ণ তাপ শোষণ করিবে। পরীক্ষায় দেখা যায় তরল ED নলের দুই বাহুতে একই তলে থাকে। ইহাতে বুঝা যায় B ও C পাত্র একই পরিমাণ তাপ শক্তি প্রাপ্ত হইয়া একই উষ্ণতায় আছে। যদি দুইটি পাত্র বিভিন্ন তাপ পাইত, তবে দুই পাত্রের ভিতরকার বায়ু বিভিন্ন মাত্রায় আয়তনে বাড়িত এবং দুই বাহুতে তরলের তলের পার্থক্য হইত।

৫২নং চিত্র

ব্যাখ্যা ঃ দুই পাত্র কি প্রকারে সমানভাবে উত্তপ্ত হইল? A চোঙের কাল তল *a′* হইতে বেশী তাপ বিকীর্ণ হয় বটে কিন্তু *a* তলের সম্মুখীন B পাত্রের মসৃণ *b* তল দ্বারা এই বিকীর্ণ তাপের অল্পই শোষিত হয়। আবার A চোঙের মসৃণ তল *a* হইতে কম তাপ বিকীর্ণ হয় কিন্তু ইহার সবটাই C পাত্রের কাল তল *c′* শোষণ করে। অর্থাৎ কাল তল *a′* এর বিকিরণ ক্ষমতা এবং কাল তল *c′* এর শোষণ ক্ষমতা সমান। অর্থাৎ **ভাল শোষক** (absorbers) **ভাল বিকিরক** (radiators) হয়। ভুষামাখান তল সর্বাপেক্ষা ভাল তাপ বিকিরক ও তাপ শোষক। মনে রাখিবে কোন তলের বিকীর্ণ ও শোষিত তাপের

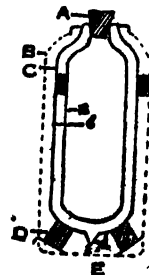
মোট পরিমাণ তলের বিকিরণ ক্ষমতা, উৎসর উষ্ণতার (বা ইথার তরঙ্গের দৈর্ঘ্য) ও তলের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে।

১২৮। প্রতিফলক (Reflectors): ভাল তাপ প্রতিফলক সাধারণতঃ খারাপ তাপ শোষক হয়। আবার ভাল তাপ শোষক খারাপ তাপ প্রতিফলক হয়। ভুষাকালি, ছাই-ভস্ম ভাল তাপ শোষক কিন্তু খারাপ তাপ প্রতিফলক। মসৃণ ধাতু ভাল প্রতিফলক কিন্তু খারাপ তাপ শোষক ও বিকিরক। মসৃণ ধাতব পাত্র অপেক্ষা কালি মাখান পাত্রে জল শীঘ্র গরম হয়।

১২৯। বিকীর্ণ তাপের উপযোগিতা: উপরোক্ত নীতি আমাদের দৈনন্দিন কাজে খুব উপকারে আসে: (ক) চক্‌চকে ধাতু বৈদ্যুতিক প্রতিফলক প্রস্তুতে ব্যবহৃত হয়। চক্‌চকে ধাতব পাত্র অপেক্ষা কাল পাথরের বাটীতে গরম তরল (দুধ, চা) শীঘ্র জুড়ায়। যে সকল পাত্রে অনেকক্ষণ উষ্ণ তরল রাখিতে হয় (যেমন ক্যালোরিমিটার) তাহাদের তাপ বিকিরণ কমাইবার জন্য তাহাদের বাহির পৃষ্ঠ চক্‌চকে করিতে হয়। আবার তাপ বিকিরণ বাড়াইবার জন্য গরম জলের নলের বাহির পৃষ্ঠে কাল রং দেওয়া হয়। তাপ শোষণ বাড়াইবার জন্য রান্নার পাত্রগুলি কাল করা হয়। থার্মমিটারের কুণ্ডকে কাল করিলে উহা বেশী তাপ শোষণ করিয়া সাধারণ কুণ্ডের চেয়ে বেশী উষ্ণতা নির্দেশ করিবে। তাপ শোষণ কমাইবার জন্য গরম কালে সাদা পোযাক এবং তাপ শোষণ বাড়াইবার জন্য শীতকালে কাল পোযাক ব্যবহার করা ভাল। সাদা রংয়ের বাড়ী শীতকালে গরম ও গ্রীষ্মকালে ঠাণ্ডা থাকে। (খ) শুষ্ক বায়ু অতি সামান্য বিকীর্ণ তাপ শোষণ করে। বিকীর্ণ তাপের প্রায় সবটা শুষ্ক বায়ুর মধ্য দিয়া অতিক্রম করে। কিন্তু আর্দ্র বায়ু বেশী তাপ শোষণ করে। সেইজন্য বায়ুস্থ জলীয় বাষ্প দিনে বিকীর্ণ সূর্যতাপ শোষণ করিয়া পৃথিবীকে বেশী উত্তপ্ত হইতে দেয় এবং রাত্রে পৃথিবী পৃষ্ঠ হইতে বিকীর্ণ তাপ শোষণ করিয়া পৃথিবীকে বেশী শীতল হইতে দেয় না। মেঘ বিকীর্ণ তাপের প্রায় সবটা শোষণ করে সেইজন্য মেঘাচ্ছন্ন দিন বা রাত্র মেঘশূন্য দিন বা রাত্র হইতে বেশী গরম হয়। মেঘশূন্য রাত্রিতে বেশী শিশির জমে। ভাল প্রতি-ফলক বা কুপরিবাহী দ্রব্যে বেশী শিশির জমে।

(গ) **সবুজ ঘর** (Green house): কাচের একটি গুণ আছে যে ইহা ১০০°C উষ্ণতার বেশী উষ্ণ কোন পদার্থ হইতে বিকীর্ণ তাপের প্রায় অর্ধেকটা ইহার মধ্য দিয়া অতিক্রম করিতে দেয়, কিন্তু ১০০°C নীচের উষ্ণতার পদার্থ হইতে বিকীর্ণ তাপের সবটাই ইহা আটকাইয়া দেয়। চারিদিকে কাচ দিয়া নির্মিত ঘরের কাচ সূর্য হইতে বিকীর্ণ তাপের প্রায় অর্ধেক ইহার ভিতর দিয়া ঘরে যাইতে দেয়। এই তাপ ঘরে ঢুকিলে ঘরে অবস্থিত মাটি ও গাছ পালা ও অন্যান্য দ্রব্য শোষণ করে কিন্তু এই দ্রব্যগুলি হইতে (যাহাদের উষ্ণতা অবশ্যই ১০০°Cর নীচে থাকে) বিকীর্ণ তাপ কাচের মধ্য দিয়া বাহিরে যাইতে পারে না। সেইজন্য ঘর উষ্ণ থাকে। কাচ সূর্যরশ্মির ফাঁদরূপে ব্যবহৃত হয়।

(ঘ) **কাচের অগ্নি-পর্দা** (Glass fire screen): চুল্লীতে আগুনের শিখা বা সূর্য-গ্রহণ দেখিবার সময় এই কাচ ব্যবহৃত হয়। ইহা বিকীর্ণ তাপের অধিকাংশ শোষণ করে। অল্প বিকীর্ণ তাপ-রশ্মি ও অধিকাংশ আলোক-রশ্মি চলিয়া যায় অর্থাৎ শিখার তাপ না পাইয়া আমরা শিখার আলো দেখিতে পাই। বিভিন্ন প্রকৃতির কাচ বিভিন্ন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের রশ্মি শোষণ করে। সাধারণ কাচ অবলোহিত (infra-red) ও অতি বেগুনী (ultra-violet) রশ্মি শোষণ করে।

(ঙ) **তাপ ফ্লাস্ক** (Thermos Flask): এই পাত্রে গরম পানীয় অনেকক্ষণ গরম এবং শীতল পানীয় অনেকক্ষণ শীতল থাকে। ইহা একটি দুই তল বা প্রাচীর (a, b) বিশিষ্ট কাচ পাত্র C। দুই প্রাচীরের মধ্যস্থিত বায়ু প্রাচীরের নীচের একটি ছিদ্র d দিয়া পাম্পের সাহায্যে বাহির করিয়া ছিদ্র গলাইয়া বন্ধ করা হয়। পাত্রের বাহিরের প্রাচীরের ভিতরের তল এবং ভিতরের প্রাচীরের বাহিরের তল চকচকে করা হয়। পাত্রকে E স্প্রীংয়ের উপরের একটি ধাতব (সাধারণতঃ Aluminium) বা কাষ্ঠ আবরণের (B) মধ্যে রাখা হয়। আবরণ ও পাত্রের মধ্যস্থিত জায়গায় কুপরিবাহী (যেমন শোলা) দিয়া ভর্তি থাকে। পাত্রের মুখে কর্কের ছিপি A থাকে। দুই প্রাচীরের মধ্যবর্তি বায়ুশূন্য স্থানে কোন জড়ের মাধ্যম না থাকায় পরিবহন

৫৩নং চিত্র

বা পরিচলনে তাপের হ্রাস বা বৃদ্ধি হয় না। কাজেই পরিবহন, পরিচলন বা বিকিরণ প্রক্রিয়ায় বাহির হইতে ভিতরে বা ভিতর হইতে বাহিরে তাপ চলাচল খুব কমিয়া যাওয়ায় পাত্রের ভিতরকার পানীয় অনেকক্ষণ গরম বা শীতল থাকে।

১৩০। **শীতলীকরণের নিয়ম** (Law of cooling): পরীক্ষার দ্বারা পাওয়া গিয়াছে যে বিকিরণ প্রক্রিয়ায় তাপ-হ্রাসের হার অর্থাৎ কোন পদার্থের শীতলীকরণের হার তিনটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে: (ক) পদার্থের উষ্ণতা, (খ) তলের বিস্তৃতি ও প্রকৃতি, (গ) পদার্থের চারিপাশের জায়গার উষ্ণতা।

নিউটনের শীতলীকরণের নিয়ম: কোন পদার্থ হইতে **তাপ-হ্রাসের হার** (উষ্ণতা-হ্রাসের হার নহে) উহার ও পার্শ্ববর্তি পদার্থের উষ্ণতার গড় পার্থক্যের সমানুপাতিক হয়। কেবল বায়ুতে বিকিরণের বেলায় এবং এই দুই উষ্ণতার পার্থক্য ৪০°Cএর মধ্যে থাকিলে এই নিয়ম খাটে।

পরীক্ষা: ক্যালোরিমিটারে খানিকটা গরম জল লও। এক মিনিট অন্তর ২০ মিনিট ধরিয়া জলকে নাড়িয়া জলের উষ্ণতা লও। প্রত্যেক দুই মিনিটে কতটা উষ্ণতা-হ্রাস হইল তাহা দেখ। এই দুই মিনিটে বায়ুর ও জলের উষ্ণতার পার্থক্যের গড় বাহির কর।

গণনায় দেখা যাইবে যে প্রত্যেক দুই মিনিটে $\frac{\text{উষ্ণতার হ্রাস}}{\text{উষ্ণতার গড় পার্থক্য}}$ = সমান

৫০ ∴ প্রত্যেক ক্ষেত্রে জলের ভর সমান থাকে। তাপ-হ্রাস ∝ উষ্ণতার গড় পার্থক্য। সুতরাং নিউটনের নিয়ম প্রমাণিত হয়।

১৩১। **Prevost**এর **তাপ-বিনিময় মতবাদ** (Theory of Exchanges): পরীক্ষায় দেখা গিয়াছে যে **প্রত্যেক পদার্থ যে কোন উষ্ণতায় সব সময়েই তাপ বিকিরণ করে**। বিকিরণের মাত্রা পদার্থের নিজের উষ্ণতা এবং নিজের তলের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। ইহা হইতে প্রমাণ হয় যে A পদার্থের পার্শ্বে B পদার্থ থাকিলে A ও B উভয় হইতে তাপ বিকীর্ণ হয়, উহারা যে কোন উষ্ণতায় থাকুক না কেন। A হইতে বিকীর্ণ তাপ B শোষণ করে এবং B হইতে বিকীর্ণ তাপ A শোষণ করে। A বা Bর উষ্ণতা

নির্ভর করে শোষিত ও বিকীর্ণ তাপের পরিমাণের পার্থক্যের উপর। আগুণের কাছে থাকিলে আমাদের দেহ যতটা তাপ বিকিরণ করে তার চেয়ে বেশী শোষণ করে সেইজন্য আমরা গরম বোধ করি। বরফের নিকট থাকিলে আমাদের দেহ যতটা তাপ শোষণ করে তার চেয়ে বেশী বিকিরণ করে সেইজন্য আমরা শীতল বোধ করি। এক খণ্ড বরফকে আগুণের নিকট রাখ বা বরফ ঘরে রাখ উভয় ক্ষেত্রেই বরফখণ্ড তাপ বিকিরণ করিবে।

যখন কোন পদার্থ হইতে বিকীর্ণ তাপ ও পদার্থের দ্বারা শোষিত তাপ সমান হয় তখন উহার উষ্ণতা এক থাকে। এখানে মনে রাখিবে এরূপ পদার্থেরও তাপ বিকিরণ বা শোষণ বন্ধ হয় না। কোন পদার্থের উষ্ণতা চরম স্কেলের ০° ডিগ্রিতে নামিলে সেই পদার্থ কোন তাপ বিকিরণ করিবে না।

প্রশ্ন

1. Distinguish between conduction, convection and radiation of heat. Illustrate the difference by example and experiment.
(C. U. 1918, '28, '38, '41. D. U. 1938)

2. Explain (a) why it is hotter the same distance over the top of a fire than it is in front of a fire. (C. U. 1929 D. U. 1921). (b) how a building is heated by a hot waterpipe (P. U. 1921). (c) why it is advantageous to wear black dress in winter and white dress in summer.

3. Point out the various ways in which a body may lose its heat. What methods would you adopt to reduce the rate of loss of heat in each case? (C. U. 1924, P. U. 1928).

4. If you touch a piece of iron and a piece of wood lying exposed to the heat of the sun, which feels hotter and why?
(D. U. 1930, P. U. 43).

5. Define thermal conductivity (C. U. 1939, P. U. 1926, '36 D. U. 1930). Explain what do you mean by—"The thermal conductivity of iron is ·2".

6. The coefficient of conductivity of Cu is 0·99. How many heat units will pass per second across a plate of copper one metre long one metre broad, one cm. thick when its opposite faces are at temperature differing by 10°C. (C. U. 1939). Ans. 574×10^4 Cal.

7. Two metal bars A and B of the same size but of different materials are coated with equal thickness of wax and placed each with one end in a hot bath. It is noted that wax on A melts at a greater rate than that on B but when a steady state has been reached a greater length of wax has been melted on B than on A. Explain this (C. U. 1941.)

8. Show experimentaly that water is a poor conductor of heat. (C. U. 1936).

9. Explain the working of Davy's Safety Lamp (C. U. 1928). When a piece of iron wire-gauze is held over a flame, the flame does not rise above it ? Why ? (C. U. 1931).

10. Discuss as fully as you can the grounds on which you can conclude that radiant heat is invisible light. (C. U. 1912, '33, Pat.1929).

11. State briefly how you would compare experimentally the conductivities of a rod of copper and one of lead. (C. U. 1938)

12. Describe an experiment showing that thermal radiations are transmitted in straight lines. Show how to prove experimentally that the radiant heat received by a given surface is inversely proportional to the square of the distance of the surface from the source of heat. (P. U. 1920).

13. Write notes on Leslie's Cube. (C. U. 1943)

14. Describe experiments to show that good absorbers are good radiators. (C. U. 1935)

15. Explain the principle of a thermos flask and utility of its different parts. (A. U. 1935)

16. Give an outline of Prevost's Theory of Exchanges, (A. U. 1935).

17. The bulbs of two identical thermometers are coated, one with lamp black, the other with silver. Compare their readings (a) when in a water bath in a dark room, (b) when in the sun, (c) when exposed on a clear night. (P. U. 1927, '24).

তাপের বল তুল্যাঙ্ক (Mechanical Equivalent of Heat)

১৩২। তাপের প্রকৃতি ঃ পুরাকালে লোকে মনে করিত তাপ ক্যালোরিক (caloric) নামক এক প্রকার অদৃশ্য, ওজনশূন্য ও অবিনশ্বর তরল পদার্থ। ইহা পদার্থের আন্তরাণবিক ফাঁকের মধ্যে থাকিত। উষ্ণ পদার্থ হইতে ক্যালোরিক শীতল পদার্থে প্রবাহিত হইত। ইহাকে তাপের **ক্যালোরিক মতবাদ** (CaloricTheory) বলে। উনিশ শতকের পূর্ব পর্যন্ত এই মতবাদ প্রচলিত ছিল। Rumford প্রথম ১৭৯৮ খৃষ্টাব্দে এই মতবাদ খণ্ডন করেন্। তিনি দেখিলেন যে ১১৩ পাউণ্ড ওজনের কোন ধাতুর (gun metal) একটি চোঙ ২½ গ্যালন জলের মধ্যে রাখিয়া একটি ভোঁতা তুরপুণ (drill) দ্বারা চোঙকে ছিদ্র করিলে কিছুক্ষণ পরে এই ঘর্ষণ প্রক্রিয়ায় এত তাপ উদ্ভূত হইল যে জল ফুটিতে লাগিল অথচ মাত্র ২ আউন্স ধাতুর গুড়া পাওয়া গেল। তিনি আরও দেখিলেন যে ঘর্ষণে অফুরন্ত তাপ উৎপন্ন করা যায়। ক্যালোরিক নামক কোন জড় পদার্থ এইরূপ সীমাহীন পরিমাণে উৎপন্ন করা যায় না। সুতরাং তিনি এই সকল পরীক্ষা হইতে সিদ্ধান্ত করিলেন যে তাপ কোন জড় পদার্থ নয়, ইহা এক প্রকার **গতীয় শক্তি**। ইহার পর Davy পরীক্ষা করিয়া দেখিলেন যে শূন্য স্থানে ২৯° ফাঃ উষ্ণতায় দুই খণ্ড বরফ ঘষিলে তাপে বরফ গলিয়া যায়। ১৮৫০ খৃষ্টাব্দে Joule পরীক্ষা করিয়া দেখাইলেন যে তাপ এক প্রকার শক্তি। তিনি তাপের ও অন্যান্য শক্তির সম্পর্ক নির্ণয় করিলেন।

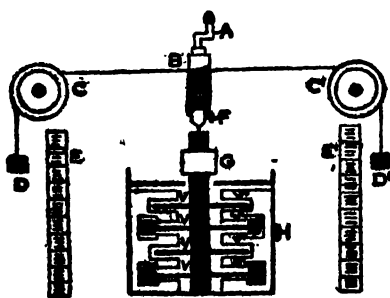
১৩৩। তাপ এক প্রকার শক্তি ঃ আমরা পূর্বে দেখিয়াছি যে কোন না কোন প্রকার শক্তি হইতে তাপ উদ্ভূত হয় এবং তাপকে অন্য প্রকার শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায় (১ খণ্ড ৯০ অনুচ্ছেদ)। দুই খণ্ড পাথরে বা কাঠে ঠোকাঠুকি করিলে উহারা গরম হয়। ঘর্ষণ করিয়া দেয়াশালায়ের কাঠি জ্বালান হয়। শীতকালে হাতে হাতে ঘষিয়া আমরা হাত গরম করি। কয়লা পোড়াইলে রাসায়নিক শক্তি তাপে রূপান্তরিত হয়। আবার তাপ হইতে যান্ত্রিক শক্তি ও অন্যান্য শক্তির উদ্ভব হয়। পতনশীল দ্রব্যের গতীয় শক্তি মাটিতে

আঘাত করিলে তাপে পরিণত হয়। সাইকেল টায়ারে বায়ু পাম্প করিলে পিষ্টনের ঘর্ষণে ও বায়ুর অণুর বেগ-বৃদ্ধিতে টায়ারের প্রায় ৮০–৯০°C উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়। উল্‌কাগুলি বায়ুর মধ্যে এত দ্রুত বেগে ছুটিয়া যায় যে এই কার্যে প্রভূত তাপ উৎপন্ন হয়।

১৩৪। **তাপের বল তুল্যাঙ্ক :** উপরোক্ত উদাহরণ হইতে দেখা যায় যখনই কোন কার্য করা হয় (যথা ঘর্ষণ, বায়ুর সংনমন) তখনই তাপ উৎপন্ন হয়। এই কার্যের পরিমাণ ও উৎপন্ন তাপের পরিমাণ **তাপ গতিবিদ্যার** (Thermodynamics) **প্রথম নিয়ম** দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় :—**"যখন কার্য তাপে কিংবা তাপ কার্যে পরিণত হয় তখন কার্যের পরিমাণ যান্ত্রিকভাবে তাপের পরিমাণের সমান হয়।"** W আর্গ কার্য করিয়া যদি H ক্যালোরি তাপ উৎপন্ন হয় তবে $W \propto H$ or $W = JH$. (৫১) এখানে J এর মান ধ্রুবক। ইহাকে তাপের বল তুল্যাঙ্ক বা Joule তুল্যাঙ্ক (Joule's Equivalent) বলে। এক একক (এক ক্যালোরি) তাপ হইতে প্রাপ্ত কার্যের পরিমাণ $= 4.2 \times 10^7$ আর্গ। আবার 4.2×10^7 আর্গ কার্য হইতে এক ক্যালোরি তাপ উৎপন্ন হয়।

১৩৫। J **নির্ণয়** (Determination of Joule's Equivalent) :

(ক) **জুলের পরীক্ষা :**

যন্ত্র : বিশেষ ভাবে নির্মিত তামার H ক্যালোরিমিটারের গাত্র হইতে অক্ষের (axis) দিকে চার জোড়া তামার ফলক (Vanes) V' অনুভূমিকভাবে বাহির হইয়াছে। ক্যালোমিটারের একটি জলরোধক ঢাকনা আছে। ঢাকনার ঠিক মধ্যস্থিত একটি ছিদ্র দিয়া অক্ষ বরাবর একটি মোটা তর্কু G (spindle দণ্ড বিশেষ) ক্যালোরি-

৫৪নং চিত্র

মিটারের ভিতর চলিয়া গিয়াছে। তর্কুর গাত্রে কতকগুলি দাঁড় (paddle)

V জোড়া আছে। একটি দাঁড় দুইটি পাতের মাঝখানের ফাঁকের মধ্য দিয়া ঘুরিতে পারে। তকুর ঘূর্ণনের সঙ্গে সঙ্গে V দাঁড়গুলি ঘুরে কিন্তু V′ পাতগুলি ক্যালোরিমিটারের গায়ে স্থির থাকে স্বতরাং ক্যালোরিমিটারে সমস্ত জলটা একসঙ্গে ঘুরিতে পারে না। তকু´টা একটি পিন F দ্বারা একটি লম্ব কাঠের চোঙ Bর সঙ্গে জোড়া থাকে। একটি স্ক্রু ঘুরাইয়া পিনটাকে সরান যায়। দুইটি দড়ির দুই প্রান্ত চোঙের গায়ে একই দিকে জড়ান আছে। ইহারা চোঙের একই জায়গা হইতে দুই দিকে বাহির হইয়াছে। দড়ির অপর দুই প্রান্ত দুইটি একই প্রকারের C ও C′ কপিকলের সঙ্গে আটকান আছে। কপিকলের অক্ষ-দণ্ড (axle) হইতে দুইটি ওজন D ও D′ দড়ি দিয়া ঝুলান আছে। ওজন নামিলে পর পর অক্ষ-দণ্ড ঘুরিবে, কপিকল ঘুরিবে, চোঙ ঘুরিবে, তকু´ ঘুরিবে, দাঁড় ঘুরিবে। পাত্র কতটা নীচে নামে তাহা দেখিবার জন্য দুইটি স্কেল E ও E′ আছে।

পরীক্ষা ঃ ক্যালোরিমিটারে নির্দিষ্ট পরিমাণ জল রাখ। ঢাকনার একটি ছিদ্র দিয়া স্ববেদী থার্মমিটার ঢুকাইয়া জলের উষ্ণতা লও। স্ক্রু ঘুরাইয়া F পিনকে আল্‌গা করিয়া B চোঙকে তকু´ হইতে খুলিয়া লও। হাতলের সাহায্যে B চোঙকে ঘুরাইয়া D ও D′ ওজন দুইটিকে স্কেলের একটি নির্দিষ্ট উচ্চতায় উঠাও। এবার পিন আঁটিয়া তকু´কে চোঙের সঙ্গে জুড়িয়া দাও। ওজন নীচের দিকে নামে, সঙ্গে সঙ্গে কপিকল, চোঙ, তকু´ ও দাঁড় ঘুরিতে থাকে এবং দাঁড়ের ঘূর্ণন গতি সমস্ত জলকে ঘুরাইতে চেষ্টা করে কিন্তু স্থির ফলকের দ্বারা বাধা প্রাপ্ত হইয়া জলের গতীয় শক্তি তাপ শক্তিতে পরিণত হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে জলের উষ্ণতা বাড়ে। ওজনের পাত্র নামিতে নামিতে মাটির নিকটবর্তি হইলে পিন আল্‌গা করিয়া খুব তাড়াতাড়ি চোঙ হইতে তকু´ খোল। ওজনকে পূর্বোক্ত উচ্চতায় পুনরায় তুলিয়া পিন আটিয়া ওজন ছাড়িয়া দাও। এইরূপ কয়েকবার করিবার পর জলের শেষ উষ্ণতা লও।

গণনা ঃ মনে কর প্রত্যেক ওজনের ভর $=M$ গ্রাম, ওজনের পতনের দূরত্ব $=h$ সেঃ মিঃ, পতনের সংখ্যা $=n$, জলের ভর $=m$ গ্রাম, ক্যালোরিমিটারের জল তুল্যাঙ্ক $=w$, জলের প্রারম্ভিক ও শেষ উষ্ণতা $=t_1°$. ও $t_2°c$.

প্রত্যেক ওজনের শেষ (অর্থাৎ মাটি স্পর্শ করিবার ঠিক পূর্ব মুহূর্তের) বেগ $= v$ সেঃ মিঃ প্রতি সেকেণ্ড।

$\therefore$ h উচ্চতায় দুই ওজনের প্রাথমিক স্থৈতিক শক্তি $= 2\ Mgh$ আর্গ

$\therefore$ দুই ওজনের মাটি স্পর্শ করিবার ঠিক পূর্ব মুহূর্তে গতীয় শক্তি $= \frac{1}{2}Mv^2 \times 2$ আর্গ $= Mv^2$ আর্গ। এই গতীয় শক্তি তাপে রূপান্তরিত হয় না।

$\therefore$ প্রত্যেক ওজনের পতনের সময় দাঁড় ঘুরাইতে নিয়োজিত শক্তি $= (2\ Mgh - Mv^2)$ আর্গ

$\therefore$ n বার পতনে মোট নিয়োজিত শক্তি বা কার্য $= W = (2\ Mgh - Mv^2) \times n$ আর্গ

এই কার্যে মোট উৎপন্ন তাপ $H = (w+m)(t_2 - t_1)$ ক্যালোরি

$$J = \frac{W}{H} = \frac{(2\ Mgh - Mv^2) \times n}{(w+m)(t_2 - t_1)}$$ আর্গ প্রতি ক্যালোরিতে।...(৫২)

ভুল সংশোধনঃ (ক) পরিবহন ও বিকিরণে তাপ-ক্ষয়ের জন্য সংশোধন করা দরকার। (খ) কপিকলের ঘর্ষণের জন্য এবং দাঁড়ের ঘূর্ণন শব্দের জন্য যে শক্তি ক্ষয় হয় তাহার জন্য সংশোধন করা দরকার। (গ) Regnault-এর নজির অনুসারে Joule জলের আপেক্ষিক তাপ সকল উষ্ণতায় সমান ধরিয়া লন। (ঘ) Joule ব্যবহৃত পারদ থার্মমিটার গ্যাস থার্মমিটারের সঙ্গে তুলনা করা ছিল না। Joule পরীক্ষায় Jএর মান ৭৭৩'৬৪ ফুট-পাউণ্ড প্রতি পাঃ-ডিগ্রি ফারেনহিট একক পাওয়া যায়। নির্ভুল মান $=$ ৭৭৮ ফুট-পাঃ প্রতি পাঃ-ডিগ্রি ফারেনহিট একক।

Jএর মানঃ J $=$ ৭৭৮ ফুট-পাঃ প্রতি পাউণ্ড-ডিগ্রি-ফারেনহিট একক $=$ (৭৭৮ $\times$ ৯/৫) $=$ ১৪০০ ফুট-পাউণ্ড প্রতি পাউণ্ড-সেন্টিগ্রেড একক

$= \dfrac{\text{১৪০০} \times \text{৩০'৪৮ সেঃ মিঃ} \times \text{৪৫৩'৬ গ্রাম-ওজন} \times \text{৯৮১}}{\text{৪৫৩'৬}}$

$=$ ৪'১৮৩ $\times$ ১০^{৭} আর্গ প্রতি ক্যালোরি।

$=$ ৪'১৮৬ জুল. প্রতি ক্যালোরি।

সাধারণতঃ Jর মানকে ৪'২ $\times$ ১০^{৭} আর্গ প্রতি ক্যালোরি ধরা হয়।

(খ) **তড়িৎ প্রক্রিয়া (Electrical Methods) :** ষষ্ঠ খণ্ডে দেখুন।

(গ) যখন m ভরের পদার্থ v বেগে চলে তখন তার গতীয় শক্তি $= \frac{1}{2}mv^2$. যখন পদার্থটি বাধা প্রাপ্ত হইয়া হঠাৎ থামে তখন উদ্ভূত তাপ $H = m.s\theta$ = (s = পদার্থের আঃ তাপ, θ = উষ্ণতা-বৃদ্ধি।)

$$H \propto \frac{1}{2}mv^2 \text{ বা } JH = \frac{1}{2}mv^2 \text{ বা } J \times ms\theta = \frac{1}{2}mv^2 \text{ বা } J = \frac{v^2}{2s\theta} \cdots (৫৩)$$

(ঘ) প্রসারিত হইবার সময় গ্যাসের দ্বারা কার্যের পরিমাণ $= P \times v$ আর্গ (P = গ্যাসের চাপ, v = আয়তন-বৃদ্ধি—(১ম খণ্ড ৭ম অনুচ্ছেদে ২নং অঙ্ক দেখুন)।

(ঙ) **ষ্টীম হইতে উদ্ভূত শক্তি** (Energy given out by steam) : ১ পাউণ্ড ষ্টীম ১০০°Cতে জল হইলে ৯৬৫ পাউণ্ড-ফাঃ একক তাপ উদ্ভূত হয়। ১ পাউণ্ড ফারেনহিট তাপ = ৭৭৮ ফুঃ পাঃ কার্য ∴ ৯৬৫ পাঃ ফাঃ তাপ = ৯৬৫ × ৭৭৮ ফুঃ পাঃ কার্য। অর্থাৎ ১ পাউণ্ড ষ্টীম হইতে যে শক্তি উদ্ভূত হয়, $\frac{৯৬৫ \times ৭৭৮}{২২৪০}$ = ৩৩৫ টন ভার ১ ফুট নামিলে সেই পরিমাণ শক্তি পাওয়া যায়। ১ পাউণ্ড জলকে ফুটাইয়া ষ্টীম করিতে এই পরিমাণ শক্তি দরকার। ১ পাউণ্ড বরফকে গলাইতে ১৪৪ পাউণ্ড-ফারেনহিট একক তাপ দরকার।

অঙ্ক 1। A mass weighing 10 K gm. falls from a height of 1 K.m. to the ground. If all the energy is converted into heat, find the amount of heat developed ?

এখানে M = ১০⁴ গ্রাম, h = ১০⁵ সেঃ মিঃ

$$W = Mgh = ১০^৪ \times ৯৮১ \times ১০^৫ \text{ আর্গ}$$

$$H = \frac{W}{J} = \frac{৯৮১ \times ১০^৯}{৪.২ \times ১০^৭} = ২৩৩৫৭ \text{ ক্যালোরি.}$$

2। 6 cms. length of a closed cylindrical tube 15 c.ms. in length is occupied by 200 gms. of lead shots when held vertically. The tube is suddenly inverted and reinverted 200 times. The rise of temperature of the shots was found to be 1·4°C. Find the value of J assuming no heat to be lost by conduction or radiation. Sp. heat of lead = ·03. (C. U. 1910)

প্রত্যেক বার সীসার গুলিসমূহ (১৫ – ৬) – ৯ সেঃ মিঃ পতিত হয়।

∴ প্রত্যেক বার স্থৈতিক শক্তির ক্ষয় – Mgh – ৫০০ × ৯৮১ × ৯ আর্গ

∴ ২০০ বারে স্থৈতিক শক্তির ক্ষয় – ২০০ × ৫০০ × ৯৮১ × ৯ আর্গ – W

সীসার গুলিতে উদ্ভূত তাপ H – ৫০০ × '০৩ × ১'৪ ক্যালোরি

$$\therefore\ J = \frac{W}{H} = \frac{২০০ \times ৫০০ \times ৯৮১ \times ৯}{৫০০ \times '০৩ \times ১'৪} = ৪'২ \times ১০^{৭}\ \text{আর্গ}$$

3. With what velocity must a lead bullet at 50°C strike against an obstacle in order that the heat produced by the arrest of the motion, if at all produced within the bullet, must be sufficient to melt it? (Sp. heat of lead = ·031, m. p. of lead = 335°C. lalent heat of fusion of lead = 5·37). (C. U. 1930, D. U. '32)

সীসা-গুলির (shot) গতীয় শক্তি = $\frac{1}{2}mv^2$। এই শক্তি হইতে রূপান্তরিত তাপ m গ্রাম সীসার উষ্ণতা ৫০°C হইতে ৩৩৫°C পর্যন্ত বাড়াইবে এবং ইহাকে গলাইবে। ∴ উদ্ভূত তাপ H = m × '০৩১ × (৩৩৫ – ৫০) + m × ৫'৩৭ = m × ১৪'২ ক্যালোরি।

আমরা জানি JH = কার্য বা শক্তি ∴ ৪'২ × ১০^{৭} × m × ১৪'২ = $\frac{1}{2}mv^2$

∴ v = ৩৪'৫ × ১০^{৪} সেঃ মিঃ প্রতি সেকেণ্ড।

4. The mechanical equivalent of heat is 4·2 Joules per calorie. what nunber should it be expressed in F. P. S. system? (1 Kilogram = 2·2 lbs. 1″ = 2·5 cms). (P. U. 1942)

১ গ্রাম = $\frac{১}{১০^{৩}}$ কিলোগ্রাম = $\frac{১}{১০^{৩}}$ × ২'২ পাঃ। ১° C. = $\frac{৯°}{৫}$ F

∴ ১ ক্যাঃ = $\frac{২'২}{১০^{৩}} \times \frac{৯}{৫}$ পাঃ ফাঃ একক ··(ক)

J = ৪'২ × ১০^{৭} আর্গ প্রতি ক্যাঃ = $\frac{৪'২ \times ১০^{৭}}{৯৮১}$ গ্রাম-সেঃ মিঃ প্রতি ক্যাঃ

$$= \frac{৪'২ \times ১০^{৭} \times ২'২}{৯৮১ \times ১০^{৩} \times ২'৫ \times ১২}\ \text{ফুট-পাঃ প্রতি ক্যাঃ}$$

$$(ক)\ \text{হইতে}\ J = \frac{৪'২ \times ১০^{৭} \times ২'২ \times ১০^{৩} \times ৫}{৯৮১ \times ১০^{৩} \times ২'৫ \times ১২ \times ২'২ \times ৯}$$

= ৭৯২'৯ ফুট পাঃ প্রতি পাঃ ফাঃ

5. A meteor weighing 2000 kilograms falls into the sun with a velocity of 1000 kilometres per second. How many calories of heat will be produced ? ($J = 4{\cdot}19 \times 10^7$ ergs. per cal.) (C. U. 1926)

উল্কার গতীয় শক্তি $= \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times (২০০০ \times ১০০০) \times (১০০০ \times ১০০০ \times ১০০)^২ = ১০^{২২}$ আর্গ $= JH$

$$\therefore \quad H = \frac{১০^{২২}}{৪{\cdot}১৯ \times ১০^৭} = ২{\cdot}৩৮ \times ১০^{১৪} \text{ ক্যাঃ}$$

প্রশ্ন

1. Explain :—(i) Why does a bicycle pump gets heated when a tyre is pumped ? (ii) Why does a falling body becomes hotter when it strikes the ground ? (D. U. 1917, 32).

2. Heat is regarded as a form of energy. What evidence led to this view ? (C. U. 1937. A. U. 1918, '32. D. U. 1928, '30 ; P. U. 1936)

3. Calculate the velocity of a lead bullet striking an unyielding target if the temperature rises 200°C and the whole of the heat generated by the impact remains in the lead. (C, U. 1937, '41, '44).
(Ans. $22{\cdot}45 \times 10^8$cm per sec).

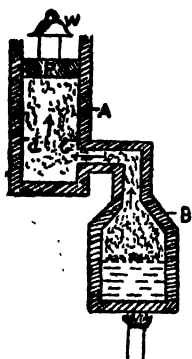
4. What is meant by mechanical equivalent of heat ? Describe a method of finding it experimentally.
(C. U. 1936. '39, '41. P. U. 1942, '44 ; D. U. '27. A U. 1916, 17, '24, '28).

5. State the First Law of Thermodynamics. What experiments would you perform to demonstrate the truth of the law ?

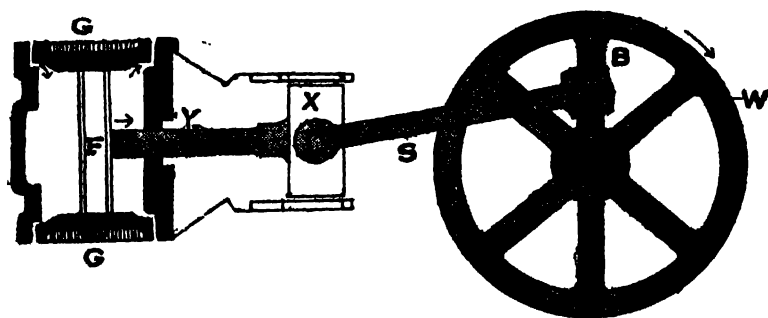
6. Describe Joule's method for determining the mechanical equivalent of heat. Find the equivalent in ergs of the amount of heat required to raise one kilogram of water through 100°C,
(C. U. 1934). (Ans. $4{\cdot}2 \times 10$) ergs".

তাপ-চালিত এঞ্জিন (Heat Engines)

১৩৬। **ষ্টীমের প্রসারণ-বল দ্বারা কার্য** (Work by the expansive force of steam) :—যখন জল তাপে ষ্টীম হয় তখন ইহার অণুর গতীয় শক্তি বহুগুণ বৃদ্ধি পায়, সেই সঙ্গে আয়তন ১৬৭০ গুণ বৃদ্ধি পায়। এই প্রসারণ-বলের (expansive force) দ্বারা ষ্টীম বহু কার্য করিতে পারে।

পরীক্ষা : একটি মোটা শক্ত ধাতব চোঙ A এর মুখে একটি ষ্টীম নিরুদ্ধ পিষ্টন P আছে। পিষ্টন চোঙের গায়ে আঁটা দুইটি পিন *a* ও *b* পর্যন্ত নামিতে পারে। পিনের নীচে হইতে একটি পার্শ্বনল চোঙকে একটি পাত্র Bএর সঙ্গে

৫৫নং চিত্র

সংযুক্ত করিয়াছে। পিষ্টনের উপর W ওজন চাপাও। B পাত্রের জল বেশী করিয়া ফুটাও। ষ্টীমের প্রসারণ চাপ পিষ্টনটিকে ওজনসহ পৃথিবীর অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে উপরের দিকে ঠেলিয়া দিইবে। (ষ্টিমের প্রসারণ ছাড়া যে কোন গ্যাসের বলের দ্বারা কার্য হয়)। ইহা হইল এঞ্জিনের মূলনীতি। মনে রাখিবে ১ পাউণ্ড ষ্টীম জমিলে ৫৩৬ ক্যালোরি তাপ উদ্ভূত হয়। এই তাপ দ্বারাও কার্য হয়।

১৩৭। রৈখিক গতির ঘূর্ণন গতিতে পরিণতি (Conversion of linear motion into rotatory motion) : প্রত্যেক এঞ্জিনে পিষ্টনের এদিক-ওদিক (to and fro) রৈখিক গতিকে **মূলদণ্ড** (shaft) সংযুক্ত **ঘূর্ণন চক্রের** (Fly-wheel) ঘূর্ণন গতিতে

৫৬নং চিত্র

পরিণত করিতে হয়। মনে কর একটি S দণ্ডের এক প্রান্ত W ঘূর্ণন চক্রের B পাখির (Spoke) সহিত যুক্ত আছে। S দণ্ডের অপর প্রান্ত Y পিষ্টন-

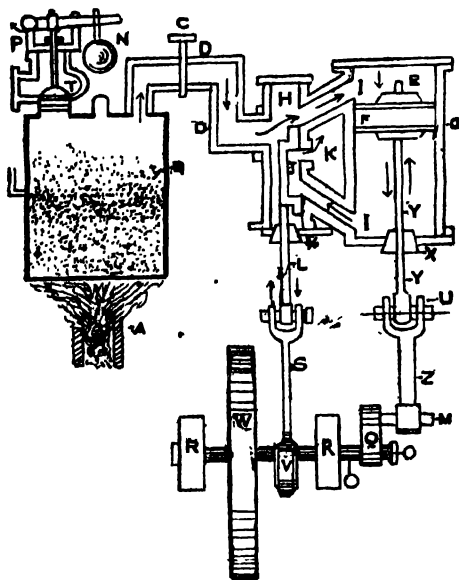
দণ্ডের (piston-rod) এক প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত আছে। Y দণ্ডের অপর প্রান্ত F পিষ্টনের সঙ্গে যুক্ত আছে। যদি কোন বলের দ্বারা F পিষ্টনকে এদিক-ওদিক সরল রেখা ক্রমে গতিসম্পন্ন করা যায় তবে W চাকা বৃত্তাকারে ঘুরিতে থাকিবে। চিত্রে তীর চিহ্ন দেখিয়া ইহা সহজেই বোঝা যায়।

১৩৮। **তাপ-এঞ্জিন :** এই যন্ত্র দিয়া তাপকে যান্ত্রিক শক্তিতে (গতীয় শক্তিতে) রূপান্তর করা যায়। ইহা দুই প্রকারের হয় যথা : (ক) **বহির্দহন** (External combustion) **এঞ্জিন :** ইহাতে বিভিন্ন পাত্রে (boiler) কয়লার আগুণে জল ফুটাইয়া ষ্টীম প্রস্তুত হয়। অতএব এই দহন কাজটা এঞ্জিনের চোঙের বাহিরে হয়। (খ) **অন্তর্দহন** (Internal combustion) **এঞ্জিন :** ইহাতে গ্যাস বা তরল দহন করিয়া তাপ পাওয়া যায় এবং এই দহন কাজটা এঞ্জিনের চোঙের মধ্যেই হয়। দাহ্য পদার্থের প্রকৃতির অনুসারে এই এঞ্জিনগুলি তিন প্রকারের, যথা গ্যাস-এঞ্জিন, পেট্রোল-এঞ্জিন, তৈল-এঞ্জিন।

১৩৯। **ষ্টীম এঞ্জিন : যন্ত্রের বিবরণ :** (ক) **বয়লার** (Boiler)—ইহা একটি বড় ষ্টীলের পাত্র B। A চুল্লীতে (furnace) কয়লা পোড়াইয়া বয়লারের জল ফুটাইয়া ষ্টীম প্রস্তুত হয়। বেশী অশ্ব শক্তিসম্পন্ন এঞ্জিনের বয়লারে উচ্চ চাপে অতিতাপিত (superheated) ষ্টীম প্রস্তুত হয়।

(খ) **ষ্টীম-প্রকোষ্ঠ** (Steam Chest-H) : বয়লার হইতে ষ্টীম D নল দিয়া আয়তক্ষেত্রিক শক্ত H ষ্টীম-প্রকোষ্ঠে ঢোকে। C চাবি দিয়া প্রকোষ্ঠে ষ্টীমের সরবরাহ নিয়ন্ত্রিত হয়। ষ্টীম-প্রকোষ্ঠ G চোঙের সঙ্গে যুক্ত (mounted) থাকে। ষ্টীম-প্রকোষ্ঠে তিনটি **পথ** (opening বা ports) থাকে যথা : মধ্যস্থ পথ K নির্গম নলের (exhaust pipe) সঙ্গে যুক্ত থাকে। I ও I′ অপর দুইটি উপর ও নীচের পথ G চোঙের মধ্যে গিয়াছে।

(গ) **গতিশীল কপাট** (Slide Valve) : ষ্টীম-প্রকোষ্ঠের মধ্যে ইহা একটি বড় D-আকৃতির J কপাট। ইহা উপর-নীচে সঞ্চরণ করিয়া পর্যায়ক্রমে I ও I′ পথকে খুলিয়া ও বন্ধ করিয়া চোঙে ষ্টীম-প্রবেশ নিয়ন্ত্রণ করে। এই উপায়ে F পিষ্টনের দুই দিক হইতে ষ্টীম ঢুকিয়া পর্যায়ক্রমে পিষ্টনের উপর-নীচে গতি উৎপন্ন করে। এঞ্জিন চালু থাকিলে ষ্টীম D পথে ষ্টীম-প্রকোষ্ঠে ঢোকে

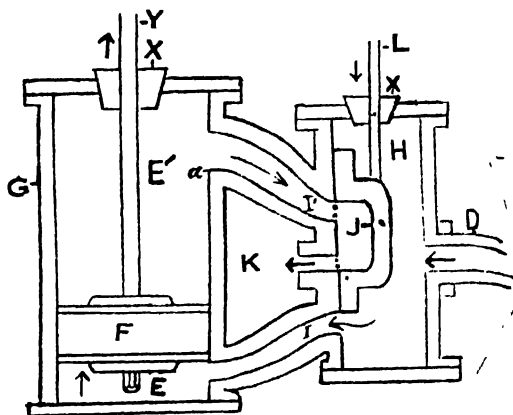
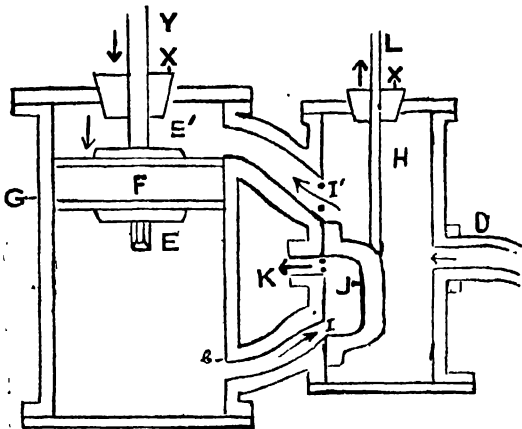
তথা হইতে একই সময়ে এক পথ দিয়া G চোঙে ঢোকে অপর পথ দিয়া চোঙ হইতে J কপাটের মধ্য দিয়া E পথ দিয়া বাহির হইয়া যায়। ষ্টীম-প্রকোষ্ঠ হইতে ষ্টীমকে বাহিরে আসিতে হইলে চোঙের মধ্য দিয়া আসিতেই হইবে। J কপাট L দণ্ডের সহিত যুক্ত থাকে। L দণ্ডটি X বাক্সের মধ্য দিয়া যাওয়া-আসা করে। L দণ্ডটি S দণ্ডের সঙ্গে যুক্ত থাকে। আবার S দণ্ড V উৎকেন্দ্রিক রেকাবির (eccentric disc) সাহায্যে এঞ্জিনের O মূলদণ্ডের (main shaft) সহিত যুক্ত থাকে।

৫৭নং চিত্র

(ঘ) চোঙ G : ইহা একটি খুব শক্ত চোঙ। I ও I′ পথ দিয়া চোঙের সঙ্গে ষ্টীম-প্রকোষ্ঠের যোগ স্থাপিত হয়। F একটি ষ্টীলের ষ্টীম নিরুদ্ধ পিষ্টন চোঙের ভিতর যাতায়াত করে। Y পিষ্টন-দণ্ড চোঙের গাত্রে স্থাপিত X বাক্সর মধ্য দিয়া চলাচল করে। Y দণ্ডটি অপর একটি দণ্ড Zএর সঙ্গে সংযুক্ত। Z দণ্ড Q ক্র্যাঙ্ক (crank) মারফত O মূলদণ্ডের সহিত সংযুক্ত। পিষ্টনের তথা Y ও Z দণ্ডের এদিক-ওদিক রৈখিক গতি ক্র্যাঙ্কের সাহায্যে মূলদণ্ডের ঘূর্ণন গতিতে পরিণত হয়। লক্ষ্য করা দরকার যে পিষ্টন-দণ্ড Y বা Z এবং কপাট-দণ্ড (valve rod) L বা S মূলদণ্ড Oর সহিত উৎকেন্দ্রিকভাবে এমন করিয়া যুক্ত থাকে যে উহাদের গতি সর্বদাই বিপরীতমুখী হয় অর্থাৎ যখন পিষ্টন-দণ্ড উপরের দিকে যায় তখন কপাট-দণ্ড নীচের দিকে আসে।

(ঙ) **ঘূর্ণন চক্র** (Fly Wheel-W) :—ইহা মূলদণ্ডের সহিত যুক্ত একটি প্রকাণ্ড ও ভারী চক্র। ইহার বেশী ভর (heavy mass) মূলদণ্ডকে সম গতি সম্পন্ন করে।

(চ) **নিরাপত্তা কপাট** (Safety Valve) : বয়লারে অত্যধিক ষ্টীম উৎপন্ন হইলে ষ্টীমের প্রচণ্ড চাপে বয়লার ফাটিয়া যাইতে পারে। সেইজন্য বয়লারের মাথায় এমন ব্যবস্থা আছে বয়লারে ষ্টীমের চাপ নিরাপত্তা-সীমার উর্ধে উঠিলেই একটি কপাট T আপনা হইতেই খুলিয়া যায় এবং ষ্টীম P পথ দিয়া বাহির হইয়া যায়। N লিভার T কপাটকে নিয়ন্ত্রিত করে।

৫৮নং চিত্র

ক্রিয়া : (ক) বায়ুর চাপের ২০ গুণ চাপে অতিতাপিত ষ্টীম বয়লার হইতে D নল দিয়া H ষ্টীম-প্রকোষ্ঠে ঢোকে এবং তথা হইতে মনে কর I নল দিয়া G চোঙের E অংশে ঢোকে। ঠিক এই সময়ে J কপাট দ্বারা I' পথ ও K নির্গম পথের যোগ সাধিত হয় এবং চোঙের E অংশের ভিতর ষ্টীমের প্রসারণ-বল ক্রিয়া করিয়া পিষ্টনকে উপর দিকে ঠেলিয়া দেয়। পিষ্টনের এই রৈখিক গতির জন্য মূলদণ্ড O ঘুরিতে থাকে এবং এই ঘূর্ণনগতি উৎকেন্দ্রিক রেকাবি Vএর মারফত S দণ্ডে তথা হইতে L দণ্ডে সঞ্চারিত হয়। L দণ্ড Y দণ্ডের বিপরীত দিকে চলে। (খ) যখন F পিষ্টন উপরের দিকে চোঙের *a* পর্যন্ত গিয়াছে তখন J কপাট বিপরীত দিকে নামে এবং J কপাট দ্বারা I পথ ও K নির্গম পথের যোগ সাধিত হয়। তখন ষ্টীম I' পথ দিয়া চোঙের E' অংশে ঢুকিয়া পিষ্টনকে নীচের দিকে ঠেলিয়া দেয়। E অংশের ষ্টীম I ও K পথ দিয়া বাহির হইয়া

যায়। এইরূপে J কপাট I ও I′ পথকে পর্য্যায়ক্রমে বন্ধ করিয়া ও খুলিয়া পিষ্টনের এদিক-ওদিক গতি উৎপন্ন করে। পিষ্টনের এই দুই পশ্চাৎ ও সম্মুখ গতি মিলিয়া একটি **গতি-চক্র** (cycle of motion) হয়। পিষ্টনের পশ্চাৎ ও সম্মুখ গতি ক্র্যাঙ্ক মারফত মূলদণ্ডের ঘূর্ণন গতিতে পরিণত হয়। পিষ্টনের একবার পশ্চাৎ ও একবার সম্মুখ গতিতে মূলদণ্ডের তথা ঘূর্ণন চক্রের একটি সম্পূর্ণ আবর্তন (rotation) হয়। প্রত্যেক আবর্তনে দুইবার—পিষ্টনের প্রত্যেক গতির

৫৯নং চিত্র

শেষ ও প্রথম মুহূর্তে—পিষ্টন মুহূর্তের জন্য থামিয়া যায় এবং Q ক্র্যাঙ্ক ও Z দণ্ড এক রেখায় আসে। এই দুই মুহূর্তে মূলদণ্ডের উপর পিষ্টনের কোন ঘূর্ণন ফল (turning effect) থাকে না। পিষ্টনের এই দুই অবস্থিতিকে **স্থির বিন্দু** (dead point) বলে। আবার প্রত্যেক আবর্তনে দুইবার ক্র্যাঙ্ক Z দণ্ডের সহিত সমকোণে আসে। তখন পিষ্টনের ঘূর্ণন ফল সর্বাপেক্ষা বেশী হয়।

একটি কপাট (Throttle Valve) দ্বারা বয়লার হইতে চোঙে ষ্টীম সরবরাহ নিয়ন্ত্রিত হয়। কপাটটি আবার একটি স্বয়ংক্রিয় নিয়ামক (governor) দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। মূলদণ্ডের গতি মূলদণ্ডের সঙ্গে যুক্ত কপিকল ও বেল্ট দ্বারা যে কোন যন্ত্রে সঞ্চারিত করা যায়।

১৪০। এঞ্জিনের প্রকার ঃ (ক) উপরে বর্ণিত এঞ্জিনকে **দুইবার ক্রিয়াশীল** (Double Acting) এঞ্জিন বলে। কারণ পিষ্টনের দুই দিক হইতে ষ্টীম বল প্রয়োগ করে। কতকগুলি এঞ্জিনে পিষ্টনের একদিকে ষ্টীমের চাপ ও অপর দিকে বায়ুমণ্ডলের চাপ ক্রিয়া করে।

(খ) যে সকল এঞ্জিনে চোঙ হইতে ষ্টীম নির্গম-পথ দিয়া বাহির হইয়া বায়ুতে মিশিয়া যায় তাহাকে **অঘনীকরণ** (non-condensing) এঞ্জিন বলে। পিষ্টনের প্রত্যেক গতিতে আকস্মিক ষ্টীম-উদ্গীরণে (puff) ইহা বুঝা যায়। (গ) যে সকল এঞ্জিনে চোঙ হইতে ষ্টীমকে ঘনীকরণ (condenser) নামক প্রকোষ্ঠে লইয়া অল্প চাপে ও উষ্ণতায় পুনরায় ঘনীকরণ করা হয় তাহাকে **ঘনীকরণ** (con densing) এঞ্জিন বলে। ঘনীকরণ এঞ্জিনের কার্যক্ষমতা (efficiency) বেশী। (ঘ) রেল গাড়ীর এঞ্জিনে (Locomotive) বয়লারের নীচে দুই পাশে দুইটি পিষ্টন থাকে। ইহা ক্র্যাঙ্ক দ্বারা প্রকাণ্ড গতি-উৎপাদক চাকার (driving wheel) সঙ্গে যুক্ত থাকে। বয়লারের সম্মুখে ধুম-প্রকোষ্ঠ (smoke box) ও পশ্চাতে প্রকাণ্ড অগ্নি-প্রকোষ্ঠ (fire box) থাকে।

১৪১। এঞ্জিনের কার্যক্ষমতা ঃ—

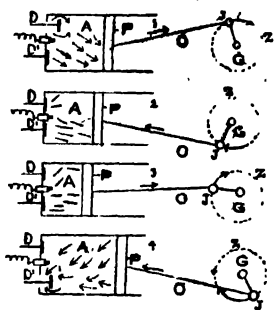
$$\text{এঞ্জিনের কার্যক্ষমতা} = \frac{\text{ঘণ্টায় সম্পাদিত কার্য}}{\text{ঘণ্টায় সরবরাহ তাপশক্তি}}$$

। উৎকৃষ্ট এঞ্জিনে যতটা তাপ সরবরাহ হয় তাহার ২০% কার্যে পরিণত হয়, অবশিষ্ট তাপ ঘর্ষণ প্রভৃতি বাধা অতিক্রম করিতে ব্যয় হয়। সাধারণ ইঞ্জিনে ইহা ১০%। সাধারণতঃ অশ্বশক্তি দিয়া এঞ্জিনের কার্যক্ষমতা প্রকাশ করা হয়। ৫৫০ ফুট-পাঃ প্রতি সেকেণ্ডে—এক অশ্বশক্তি।

১৪২। অন্তর্দহন এঞ্জিন ঃ ইহা তিন প্রকার হয়, যথা (ক) পেট্রোল এঞ্জিন, (খ) তৈল এঞ্জিন, (গ) গ্যাস এঞ্জিন।

এই এঞ্জিনগুলি মটরগাড়ী, বিমানপোত ও উড়োজাহাজে ব্যবহৃত হয়। কয়লা-গ্যাস কিংবা পেট্রোল, বেনজিন (benzene), কোহল দাহ্য পদার্থরূপে ব্যবহৃত হয়। এই তরলগুলি খুব উদ্বায়ী এবং ইহাদের বাষ্প ও বায়ুর মিশ্রণে অগ্নিসংযোগ হইলে বিস্ফোরণ (explosion) হয়। এই বিস্ফোরণের বলে

(explosive force) পিষ্টন গতিসম্পন্ন হয়। বন্দুকের ঘোড়া টিপিলে ঘর্ষণে অগ্নিস্ফুলিঙ্গ হইয়া বারুদে বিস্ফোরণ হয়, বিস্ফোরণে উষ্ণ গ্যাসের উৎপত্তি হয়। গ্যাসের চাপে বন্দুকের গুলি বেগে বাহির হয়। ইহাই সরল অন্তর্দহন এঞ্জিন।

১৪৩। **কার্যের নীতি :** সাধারণতঃ পিষ্টনের চারিটি ধাক্কায় (strokes)-দুইটি সম্মুখ দুইটি পশ্চাৎ ধাক্কায়—একটি **কার্য-চক্র** (a cycle of operation) সম্পন্ন হয়। এই চার ধাক্কার সময়ে দাহ্য পদার্থ মাত্র একবার চোঙে ঢোকে। এইরূপ এঞ্জিনকে **চার-ধাক্কা** (four strokes) এঞ্জিন বলে। চারিটি ধাক্কা নিম্নলিখিত পর্য্যায় হয়, যথা :—

৬০নং চিত্র

(ক) **প্রথম বা গ্যাস গ্রহণের ধাক্কা** (Charging stroke): প্রারম্ভে বাহিরের হাতল ঘুরাইয়া এঞ্জিনকে চালু করিলে প্রথম ধাক্কায় P পিষ্টন A চোঙের বাহিরের দিকে সরে। চোঙের ভিতরে আয়তন বৃদ্ধি পায় এবং D কপাট খুলিয়া (৬০নং চিত্র I ও ৬১নং চিত্র) পেট্রোল বাষ্প ও বায়ুর মিশ্রণ A চোঙের শূন্যস্থানে ঢোকে। এখন D^1 কপাট বন্ধ থাকে।

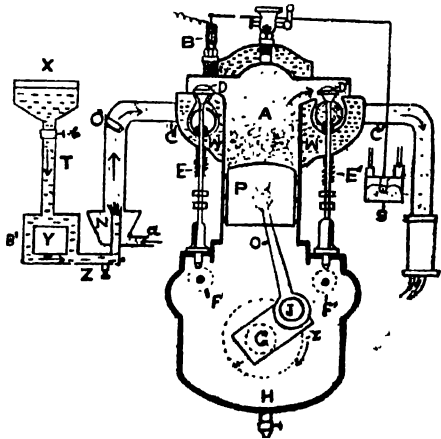
(খ) **দ্বিতীয় বা সংনমন ধাক্কা** (Compression stroke): দ্বিতীয় ধাক্কায় পিষ্টন চোঙের ভিতরে সরে, বায়ুমিশ্রিত পেট্রোল বাষ্প প্রায় $\frac{1}{5}$ আয়তনে সংনমিত হয় এবং D ও D^1 কপাট বন্ধ হয় (৬০নং চিত্রে 2)। মিশ্রণের উষ্ণতা ৬০০°C পর্যন্ত বাড়ে। এই ধাক্কার শেষে বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গের দ্বারা বায়ুমিশ্রিত পেট্রোল-বাষ্প পুড়িয়া যায় এবং সঙ্গে সঙ্গে বিস্ফোরণ (explosion) হয়।

(ঘ) **তৃতীয় বা কার্যকরী ধাক্কা** (Working stroke): উপরোক্ত দহনে প্রভূত তাপ উদ্ভূত হয় এবং চোঙের ভিতরের গ্যাসের উষ্ণতা ২০০০°C উঠিয়া পড়ে। গ্যাসের চাপও বায়ুমণ্ডলের চাপের ১৫ গুণ বাড়িয়া যায়। এই প্রচণ্ড চাপে পিষ্টন প্রবলবেগে বাহিরের দিকে সরিয়া আসে এবং গতিশক্তি ঘূর্ণন-চাকায়

(fly wheel) সঞ্চারিত হয়। চার পর্য্যায়ের মধ্যে মাত্র এই পর্য্যায়ে এঞ্জিন কাজ করে। এই ধাক্কায় D, D^1 কপাট বন্ধ থাকে।

(ঘ) **চতুর্থ বা নিঃসরণ ধাক্কা** (Exhaust stroke) : এই ধাক্কায় পিষ্টন ভিতরের দিকে সরে। D^1 কপাট খুলিয়া দহনে উৎপন্ন গ্যাস বাহির হইয়া যায়।

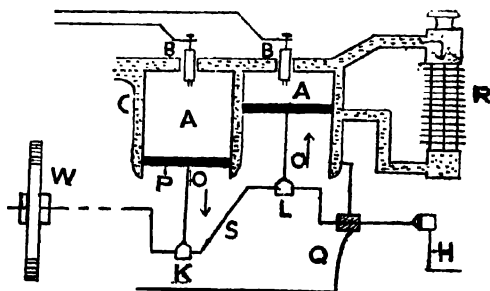
নিঃসরণের পর পুনরায় প্রথম পর্য্যায় আরম্ভ হয়। এঞ্জিন কেবল তৃতীয় ধাক্কার সময়ে বিস্ফোরণে শক্তি পায় অতএব ঘূর্ণন-চাকা খুব ভারী হওয়া দরকার যাহাতে এই ধাক্কায় লব্ধ গতির জাড্য পরবর্তি চতুর্থ, প্রথম ও তৃতীয় ধাক্কায় পিষ্টনের গতি ব্যাহত রাখিতে পারে।

যন্ত্রের বিবরণ : পেট্রোল X আধার হইতে T নল দিয়া B^1 প্রকোষ্ঠে যায়। *b* প্যাঁচকল দিয়া প্রকোষ্ঠে পেট্রোলের পরিমাণ নিয়ন্ত্রিত হয়। এখানে একটা ফাত্‌না (float) Y থাকে। B^1 প্রকোষ্ঠ হইতে চাপ প্রয়োগে Z নল দিয়া পেট্রোল N প্রকোষ্ঠে (carburettor) ঢোকে। এখানে পেট্রোল বাষ্পীভূত হয় এবং A নল দিয়া নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ু এই প্রকোষ্ঠে ঢোকে, বায়ুর সহিত পেট্রোল-বাষ্প মিশানকে carburet বলে। O কপাট (Throttle valve) দ্বারা দহন-প্রকোষ্ঠে (combustion chamber) বায়ুমিশ্রিত পেট্রোল-বাষ্পের সরবরাহ স্বতঃই নিয়ন্ত্রিত হয়। নির্দিষ্ট অনুপাতে পেট্রোল-বাষ্প ও বায়ুর মিশ্রণ C নল (inlet pipe) দিয়া A^1 দহন-প্রকোষ্ঠে ঢোকে। সেখানে B ছিপি (plug) মারফত প্রাপ্ত তড়িৎ দিয়া মিশ্রণকে পোড়ান হয়। S ম্যাগনেটো হইতে তড়িৎ সরবরাহ হয়। ম্যাগনেটো আবার এঞ্জিন দ্বারা চালিত হয়। দহন-প্রকোষ্ঠ হইতে বেগে গ্যাস A চোঙে ঢুকিয়া P পিষ্টনকে ঠেলিয়া দেয়

৬১নং চিত্র

এবং দহনে উৎপন্ন গ্যাস নির্গম-নল C^1 দিয়া বাহির হইয়া যায়। আগম-নল Cএর ও নির্গম-নল C^1এর মুখে দুইটি কপাট D ও D^1 আছে। ইহারা যথাক্রমে বায়ুমিশ্রিত বাষ্পের C আগম-নল দিয়া চোঙে প্রবেশ এবং চোঙ হইতে C′ নির্গম-নল দিয়া দহনে উৎপন্ন গ্যাসের নিঃসরণ স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থায় নিয়ন্ত্রিত করে। কপাট দুইটি E ও E′ স্প্রিংয়ের দ্বারা আসনের উপর নীচের দিকে টানিয়া বসান থাকে। তখন কপাট বন্ধ থাকে। F ও F^1 ক্যাম (cam) দ্বারা স্প্রীং যথাসময়ে উপরে উত্তোলিত হয় এবং কপাট খুলিয়া যায়। ক্যাম দুইটি আবার এঞ্জিন চালিত মূলদণ্ডের সহিত অন্য দণ্ড দ্বারা যুক্ত থাকে। P পিষ্টন O দণ্ড দ্বারা ক্র্যাঙ্ক (৬০ ও ৬১নং চিত্রে G ও ৬২নং চিত্রে K ও L) এর সঙ্গে সংযুক্ত। মূলদণ্ড KSLQএর পশ্চাৎ দিকে ঘূর্ণন-চক্র W ও সম্মুখে দিকে হাতল H থাকে। (৬২নং চিত্র)

P পিষ্টনের গতির সঙ্গে O পিষ্টন-দণ্ড গতি সম্পন্ন হয়, তৎসঙ্গে G ক্র্যাঙ্ক ও বড় চাকা ঘুরে। A চোঙের চারিধারে আবরণের (jacket) মধ্য দিয়া জলপ্রবাহ W (৬১নং) চলিতে থাকে যাহাতে চোঙের ভিতরে উষ্ণতা ১৮০° ফাঃএর উপর না যায়। চোঙের চারিধারের উষ্ণ জল Radiatorএর মাথায় যায় তথা হইতে Radiatorএর মধ্য দিয়া নীচে নামে। Radiator নলের চারিধারে বাতাসের প্রবাহ চলিতে থাকে। ইহাতে জল শীতল হয়, এই শীতল জল আবার আবরণে ঢোকে।

৬২নং চিত্র

মটর গাড়ীর এঞ্জিন :—মটর গাড়ী বা বিমানপোতের পেট্রোল-এঞ্জিনে সাধারণতঃ দুই বা দুয়ের গুণিতক সংখ্যক ৪, ৬, ৮ ইত্যাদি চোঙ থাকে। সব চোঙের পিষ্টনগুলি নিজ নিজ গতি ক্র্যাঙ্ক মারফত একই মূলদণ্ডে (main shaft) সঞ্চরণ করে। ইহাতে এঞ্জিনের কার্যক্ষমতা বা কার্যকরী শক্তি বৃদ্ধি পায়।

৬২নং চিত্রে এইরূপ একটি দুই-চোঙ বিশিষ্ট এঞ্জিন দেখান হইয়াছে। A, A—দুইটি চোঙ, O, O—পিষ্টন দণ্ড; KSLQ—মূলদণ্ড; W-ঘূর্ণন-চক্র; B-তড়িৎ চাবি; R—জল প্রবাহের radiator, H—হাতল। এই হাতল ঘুরাইয়া এঞ্জিন চালু করা হয়।

১৪৪। **তৈল এঞ্জিন:** অতি উত্তপ্ত ধাতব নলে (Vaporiser tube) তৈল কণার (spray) আকারে প্রবেশ করে এবং নলে বায়ুও প্রবেশ করে। তৈল বাষ্পীভূত হইয়া বায়ুর সঙ্গে মিশে। এই মিশ্রণে বিস্ফোরণ হয়। বিস্ফোরণের চাপে পিষ্টন চলে।

Diesel তৈল এঞ্জিনে প্রথম ধাক্কায় কেবল বায়ু কম চাপে চোঙে ঢোকে। দ্বিতীয় ধাক্কায় এই বায়ু অত্যন্ত সংনমিত হয়, তাহাতে অধিক তাপ উদ্ভূত হয়। সমস্ত কপাট বন্ধ থাকে। চোঙের উষ্ণতা প্রায় ৫৪০°C পর্যন্ত উঠে। তৃতীয় ধাক্কার প্রথমে অত্যন্ত চাপে তৈলের বাষ্প চোঙে ঢোকে এবং অত্যন্ত উত্তপ্ত ও সংনমিত বায়ুর সংস্পর্শে আসিয়া তৈল-বাষ্প আপনিই পুড়িয়া যায়। গ্যাস আয়তনে বাড়ে, পিষ্টন কার্য করে।

এই এঞ্জিনে কার্যক্ষমতা বেশী। প্রায় শতকরা ৪০ ভাগ কেরোসিন তৈল ব্যবহার করা যায় বলিয়া ইহাতে খরচা কম। এই এঞ্জিন ডুবো জাহাজে ও বাণিজ্য জাহাজে ব্যবহৃত হয়।

১৪৫। **গ্যাস এঞ্জিন:**—ইহাতে ৮ ভাগ বায়ু ও ১ ভাগ কয়লা-গ্যাস ব্যবহৃত হয়। ইহাতেও চার ধাক্কায় কাজ হয়, অতি উত্তপ্ত নল দ্বারা কিংবা তড়িৎ স্ফুলিঙ্গ দ্বারা গ্যাস পোড়ান হয়।

১৪৬। **গ্যাস এঞ্জিন ও ষ্টীম এঞ্জিনের তুলনা:** (ক) ষ্টীম এঞ্জিনে ষ্টীমের প্রসারণ-বলে (expansive force) পিষ্টন চলে। গ্যাস এঞ্জিনে বায়ু ও গ্যাসের দহনে বিস্ফোরণের চাপে (explosive force) পিষ্টন চলে। (খ) ষ্টীম এঞ্জিন বেশী জায়গা দখল করে, গ্যাস এঞ্জিন কম জায়গা দখল করে। (গ) ষ্টীম এঞ্জিনে ধোঁয়া হয়। গ্যাস এঞ্জিনে ধোঁয়া হয় না। (ঘ) গ্যাস এঞ্জিনে দাহ্য পদার্থের দাম বেশী বলিয়া খরচা বেশী পড়ে। (ঙ) ষ্টীম এঞ্জিন অপেক্ষা গ্যাস এঞ্জিনের কার্যক্ষমতা বেশী। (চ) গ্যাস এঞ্জিন দরকার হইলে যে কোন মুহূর্তে চালু করা যায়।

প্রশ্ন

1. Explain why is it that while the value of latent heat of water is less when expressed in terms of the Centigrade scale than when expressed in terms of Farhenheit scale just the opposite holds in the scale of numerical values of the mechanical equivalent of heat. (C. U. 1937)

2. Describe the principle and action of a steam engine giving a sectional diagram. (C. U. 1923, '25, '38, '39. D. U.'30. Pat. 1931, '38).

3. Describe with a neat diagram any form of a modern petrol engine. How does it act? (C. U. 1933, '37)

4. Describe with a neat diagram the principle and action of an internal combustion engine. (C. U. 1940)

5. Explain by a suitable experiment that the force of steam can be made to do work. Describe some of the changes made in the industry by the use of steam engine. What is the main difference between a steam and a petrol engine?

তাপ সম্পর্কীয় প্রয়োজনীয় সমীকরণ

(১) $\frac{C}{৫} = \frac{F - ৩২}{৯} = \frac{R}{৪}$

(২) $\alpha = \frac{l_t - l_o}{l_o t}$

(৩) $\beta = \frac{S_t - S_o}{S_o t}$

(৪) $\gamma = \frac{V_t - V_o}{V_o t}$

(৫) $\beta = 2\alpha$

(৬) $\gamma = 3\alpha$

(৭) $\gamma = \gamma^1 + \gamma_g$

(৮) $\gamma^1 = \frac{m_1 - m_2}{m_2(t_2 - t_1)}$

(৯) $\gamma = \frac{\rho - \rho^1}{\rho(t_2 - t_1)}$

(১০) $\gamma = \frac{h_2 - h_1}{h_1 t_2 - h_1 t_1}$

(১১) $PV = K$

(১২) $\gamma_p = \frac{V_t - V_o}{V_o t}$

(১৩) $V_t = V_o\left(1 + \frac{t}{273}\right)$

(১৪) $\gamma_p = \frac{l_1 - l}{l\, t.}$

(১৫) $\gamma_v = \frac{P_t - P_o}{P_o t}$

(১৬) $\gamma_v = \frac{P - P_o}{P_o \times t_o}$

(১৭) $\frac{PV}{T} = \frac{P_1 V_1}{T_1}$

(১৮) $PV = RT.$

(১৯) $W = m^1 \times \frac{t_2 - t_1}{t - t_1}$

দ্বিতীয় খণ্ড সমাপ্ত

তৃতীয় খণ্ড

আলোক

(LIGHT)

আলোকের ঋজু গমন

(Rectilinear propagation of light)

১। **আলোকের প্রকৃতি ঃ** দর্শন অনুভূতির জন্য দুইটি জিনিষ প্রয়োজন—একটি চোখ আর একটি আলোক। দিন দুপুরে চোখ বাঁধিয়া দিলে আলোক থাকিলেও চোখের অভাবে কিছুই দেখিতে পাই না। আবার অন্ধকার ঘরে চোখ মেলিয়া দেখিলেও আলোকের অভাবে কিছুই দেখিতে পাই না। অতএব চোখের দর্শন অনুভূতি জাগ্রত করিবার বাহ্যিক কারণ হইল আলোক। দৃশ্য দ্রব্য হইতে আলোক রশ্মি আমাদের চোখে প্রবেশ করিয়া আমাদের দৃষ্টি অনুভূতি জাগ্রত করে।

২। **আলোক এক প্রকার শক্তি ঃ** আমরা পূর্বে দেখিয়াছি কোন উত্তপ্ত পদার্থ হইতে বহির্গত দৃশ্য বিকীর্ণ শক্তিকে আলো বলে (Light is visible radiant energy)। সেই শক্তি অদৃশ্য হইলে তাহাকে তাপ বলে। আমরা পূর্বে দেখিয়াছি আলোক শক্তিকে অন্য বিভিন্ন শক্তিতে এবং অন্য বিভিন্ন শক্তিকে আলোকে রূপান্তরিত করা যায়, যথা (ক) দুই খণ্ড পাথর ঠুকিলে প্রথমে তাপ ও তৎপরে আলোক শক্তি পাওয়া যায়। ইহা যান্ত্রিক শক্তি হইতে আলোক শক্তিতে রূপান্তরের দৃষ্টান্ত। (খ) আবার পাতলা প্লাটিনাম পাতের উপর আলোক রশ্মি ফেলিলে উহা ঘুরিতে থাকে (Crookes-এর Radiometer যন্ত্রের পরীক্ষা)। ইহা আলোক শক্তি হইতে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরের দৃষ্টান্ত। (গ) মোমবাতি জ্বালিলে বাতির কারবন ও হাইড্রোজেনের সহিত বায়ুর অক্সিজেনের রাসায়নিক সংযোগ হইয়া কারবন-ডাই-অক্সাইড ও জল উৎপন্ন

হয় এবং সেই সঙ্গে তাপ ও আলোক শক্তি উদ্ভূত হয়। ইহা রাসায়নিক শক্তির আলোক শক্তিতে রূপান্তরের দৃষ্টান্ত। (ঘ ফটোগ্রাফি প্লেটে আলোক দ্বারা রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটানো হয়। (ঙ) বিজলি বাতি বৈদ্যুতিক শক্তির তাপ ও আলোক শক্তিতে রূপান্তরের দৃষ্টান্ত। (চ) কতকগুলি ধাতু যথা পটাসিয়াম, ক্যালসিয়াম আলোকে রাখিলে ইলেক্‌ট্রোন নিঃসরণ করে। নিঃসৃত ইলেক্‌ট্রোন হইতে বৈদ্যুতিক প্রবাহ উৎপন্ন করা সম্ভব হয়। উপরোক্ত ধাতুর এই সকল গুণের সুযোগ লইয়া ফটো-সেল (Photocell) তৈয়ার করা হয়। আমরা পূর্বে দেখিয়াছি আলোক এক প্রকার ইথার তরঙ্গ। এই তরঙ্গগুলি শূন্যে সেকেণ্ডে ১৮৬০০০ মাইল বেগে ছুটিয়া চলে। আলোক শক্তি ইথার তরঙ্গের কম্পন হইতে উদ্ভূত হয়।

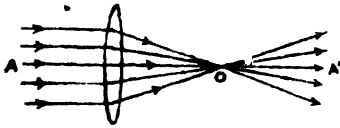
৩। **আলোক অদৃশ্য :** সমস্ত শক্তির ন্যায় আলোক শক্তি নিজে অদৃশ্য যদিও ইহা কোন পদার্থের উপর পড়িলে সেই পদার্থকে আমরা দেখিতে পাই। ধূলিশূন্য ঘরের কোন ছিদ্র দিয়া সূর্যালোক প্রবেশ করিতে দিলে রশ্মির পথ দেখা যায় না। যদি ঘরে ধূলি উড়াইয়া দেওয়া হয় তবে ধূলিকণা হইতে বিক্ষিপ্ত (diffused) আলোকে আমরা ধূলিকণা দেখিতে পাই। রাত্রে দূরের উজ্জ্বল আলোকিত বস্তু দেখিতে পাই কিন্তু মধ্যখানে আলোক তরঙ্গের পথ অন্ধকারই থাকে।

৪। **সংজ্ঞা** (Definition) : যে সকল পদার্থ নিজেরাই আলোক তরঙ্গ নিঃসরণ করে (emit) তাহাদিগকে **স্বপ্রকাশ** বা **স্বপ্রভ** (luminous) পদার্থ বলে, যেমন সূর্য, প্রদীপ, বাতি। যে সকল পদার্থ নিজেরা আলোক-তরঙ্গ নিঃসরণ করে না কিন্তু অন্য স্বপ্রভ পদার্থ হইতে পতিত (incident) আলোক তরঙ্গ বিক্ষিপ্ত করিয়া (diffused) আমাদের চোখে পাঠায় তাহাদিগকে **অপ্রকাশ** বা **অপ্রভ** (non-luminous) পদার্থ বলে, যথা চন্দ্র, গ্রহ, বা পৃথিবীর অধিকাংশ পদার্থ। অন্ধকার ঘরে বাতি জ্বালিলে স্বপ্রভ বাতি হইতে ঘরের যাবতীয় অপ্রভ পদার্থের উপর প্রথমে আলোক তরঙ্গ পড়ে। অপ্রভ পদার্থ এই আলোক তরঙ্গ আমাদের চোখে পাঠায়। সূর্যের আলোক চন্দ্রে পতিত হইয়া আমাদের চোখে ফিরে আসে। চন্দ্রের নিজস্ব আলো নাই।

অপ্রভ পদার্থ তিন প্রকার : (ক) **স্বচ্ছ** (Transparent) : যে সকল পদার্থের মধ্য দিয়া প্রায় সকল আলোক তরঙ্গ অবাধে অতিক্রম করে, অল্পই শোষিত হয় তাহাদিগকে স্বচ্ছ পদার্থ বলে ; যথা কাঁচ, জল, বায়ু। এই সকল পদার্থের উপযুক্ত আকারের মধ্য দিয়া বিপরীত দিকে অবস্থিত যে কোন পদার্থ স্পষ্টভাবে দেখা যায়। (খ) **অস্বচ্ছ** (Opaque) : যে সকল পদার্থের মধ্য দিয়া কোন আলোক তরঙ্গ অতিক্রম করে না, সবটাই শোষিত হয় তাহাদিগকে **অস্বচ্ছ** পদার্থ বলে, যথা কাঠ, ইট। ইহাদের মধ্য দিয়া কোন পদার্থ দেখা যায় না। (গ) **ঈষৎ স্বচ্ছ** (Translucent) : যে সকল পদার্থের মধ্য দিয়া আলোক তরঙ্গ আংশিকভাবে অতিক্রম করে এবং আংশিকভাবে শোষিত হয় তাহাদিগকে **ঈষৎ স্বচ্ছ** পদার্থ বলে, যথা ঘসাকাঁচ, তৈল মাখান কাগজ। ইহাদের মধ্য দিয়া পদার্থ অস্পষ্টভাবে দেখা যায়। কোন পদার্থ স্বচ্ছ কি অস্বচ্ছ নির্ভর করে তাহার বেধের (thickness) উপর। খুব পাতলা ধাতব পাতের মধ্য দিয়া আলোক খানিকটা অতিক্রম করে যদিও মোটা ধাতব পাত অস্বচ্ছ। আবার যদিও জল স্বচ্ছ কিন্তু খুব গভীর জলের তলায় কোন পদার্থ থাকিলে দেখা যায় না।

যে সকল পদার্থের কিংবা যে সকল স্থানের (space) মধ্য দিয়া আলোক-তরঙ্গ অতিক্রম করে তাহাদিগকে সাধারণভাবে **আলোক-মাধ্যম** (optical medium) বলে। যে সকল মাধ্যমের সকল অংশের গঠন ও গুণ এক প্রকার তাহাদিগকে **সমস্বত্ব** (homogeneous) মাধ্যম বলে। বিভিন্ন অংশে বিভিন্ন গুণ থাকিলে মাধ্যমকে **ভিন্নস্বত্ব** (heterogeneous) মাধ্যম বলে।

স্বপ্রভ পদার্থের প্রত্যেক বিন্দু হইতে নির্গত হইয়া আলোক তরঙ্গ সমস্বত্ব স্বচ্ছ মাধ্যমের মধ্য দিয়া সরল রেখায় গমন করে। কোন আলোক-তরঙ্গের পথকে **আলোক-রশ্মি** (ray) বলে। আলোর রশ্মি সরল রেখা দ্বারা প্রকাশ করা হয় এবং তীর চিহ্ন দ্বারা আলোক-রশ্মির অভিমুখ প্রকাশ করা হয়। কোন বিন্দু হইতে নির্দিষ্ট কতকগুলি আলোক-রশ্মির সমষ্টিকে **রশ্মিগুচ্ছ** (beam) বলে। অল্প সংখ্যক আলোক-রশ্মিকে Pencil বলে। রশ্মিগুচ্ছ সাধারণতঃ শঙ্কু (cone) আকৃতির হয়। শঙ্কুর অক্ষকে (axis) রশ্মিগুচ্ছের অক্ষ (AO) বলে। যখন রশ্মিগুলি শঙ্কুর শীর্ষ O বিন্দু হইতে

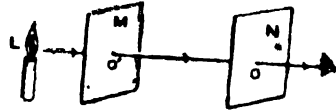
বহির্গত হইয়া চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে তখন রশ্মিগুলিকে **অপবিন্দু বা অপসারী** (divergent) রশ্মিগুচ্ছ বলে, যেমন OA′। এইরূপ রশ্মিগুচ্ছে যে কোন দুইটি রশ্মির মধ্যস্থিত পরস্পর দূরত্ব O বিন্দু হইতে ক্রমশঃ বাড়িয়া যায়। আলোকিত পদার্থের যে কোন বিন্দু হইতে এইরূপ রশ্মিগুচ্ছ বাহির হয়। যখন রশ্মিগুলির পরস্পর দূরত্ব সমান থাকে অর্থাৎ যখন রশ্মিগুলি পরস্পর সমান্তরাল থাকে তখন রশ্মিগুচ্ছকে **সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ** (parallel pencil) বলে। বহুদূর হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছকে সমান্তরাল ধরা হয় (যেমন A)। যখন রশ্মিগুলি শঙ্কুর শীর্ষ O বিন্দুর অভিমুখে অগ্রসর হয় তখন রশ্মিগুচ্ছকে **অভিবিন্দু বা অভিসারী** (convergent) রশ্মিগুচ্ছ বলে। এইরূপ রশ্মিগুচ্ছে দুইটি রশ্মির পরস্পর দূরত্ব O বিন্দুর দিকে ক্রমশঃ কমিয়া যায় (O বিন্দুর বামদিকের রশ্মি)। মনে রাখিবে যে কার্যত একটি রশ্মি পৃথক করা যায় না। সব সময়েই আমাদের রশ্মির pencil লইয়া আলোচনা করিতে হয়।

১নং চিত্র

৫। **আলোকের ঋজু গমন** (Rectilinear propagation): সমস্বত্ব স্বচ্ছ মাধ্যমে আলোক তরঙ্গ সরল রেখায় গমন করে, বাঁকা পথে যায় না। নিম্নলিখিত **পরীক্ষা ও ঘটনা** হইতে ইহা প্রমাণিত হয়:—

(ক) একটি ঘরে একটি ঘণ্টা ও বাতি রাখ। ঘণ্টা বাজাইলে পাশের ঘরে শব্দ শোনা যায় কিন্তু বাতি জ্বালিলে পাশের ঘরে আলো দেখা যায় না অর্থাৎ শব্দ তরঙ্গ বাঁকা পথে পাশের ঘরে ঢোকে কিন্তু আলোক তরঙ্গ বাঁকা পথে ঘরে ঢোকে না।

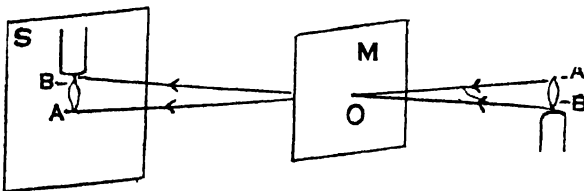
(খ) একটি সূক্ষ্ম ছিদ্র দিয়া অন্ধকার ঘরে সূর্যালোক প্রবেশ করাইলে ধূলিপূর্ণ আলোক-রশ্মির পথকে সর্বদাই সরল দেখাইবে। ষ্টীমার ও রেলের টর্চের আলোর গতি দেখিয়া বুঝা যায় যে আলো সরল পথে চলে। সূর্য যখন মেঘের আড়ালে যায় তখন সূর্যরশ্মি সরল রেখায় আকাশে ছড়াইয়া পড়ে।

(গ) **পরীক্ষা:** L একটি বাতির শিখা। M ও N দুইটি কার্ডবোর্ড পর্দার মাঝখানে ১ মিঃমিঃ ব্যাসযুক্ত দুইটি ছোট O′ও O ছিদ্র কর। পর্দা দুইটিকে শিখার

একই দিকে এমনভাবে রাখ যাহাতে N পর্দার পিছনে চোখ রাখিলে দুই ছিদ্রের মধ্য দিয়া শিখা দেখা যায়। এখন একটি স্কেল বা সূতা ধরিলে দেখিবে দুই ছিদ্র ও শিখা একই সরল রেখায় আছে। যে কোন পর্দাকে নিজ তলে অর্থাৎ পাশে একটু সরাইলে আলোক তরঙ্গ বিচ্ছিন্ন হইবে, শিখা দেখা যাইবে না কারণ তখন দুই ছিদ্র ও শিখা এক সরল রেখায় থাকিবে না। এইরূপে বাতির শিখা ও চোখের মধ্যে কোন পর্দা রাখিলে আলো দেখা যাইবে না। যদি

২নং চিত্র

আলোক তরঙ্গ বাঁকা পথে গমন করিত তবে আলোক তরঙ্গ পর্দা ঘুরিয়া বাঁকা পথে চোখে আঘাত করিত।

(ঘ) **উল্‌টা প্রতিবিম্ব** (Inverted Image) **ও সূচী-ছিদ্র ক্যামেরা** (Pinhole Camera): **পরীক্ষা:** AB বাতির শিখা, M কার্ডবোর্ডে O একটি সূচী-ছিদ্র (pinhole), S একটি কাচের পর্দা। কার্ডবোর্ডের ছিদ্রকে AB শিখার সামনে রাখিলে S পর্দার উপর শিখার একটি উল্‌টা প্রতিবিম্ব A′B′ পড়িবে।

ব্যাখ্যা—শিখার প্রত্যেক বিন্দু হইতে রশ্মিগুচ্ছ চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে। শিখার A বিন্দু হইতে নির্গত একটি রশ্মিগুচ্ছ (pencil) AO সরল রেখাক্রমে ছিদ্র অতিক্রম করিয়া OA^1 সরল রেখাক্রমে S পর্দায় A′ বিন্দুতে পড়ে। ইহাতে

৩নং চিত্র

A বিন্দুর প্রতিবিম্ব A′ হইবে। এইরূপ শিখার B বিন্দু হইতে একটি রশ্মিগুচ্ছ BO সরল রেখাক্রমে ছিদ্র অতিক্রম করিয়া OB′ সরল রেখাক্রমে পর্দায় B′

বিন্দুতে পড়ে। ইহাতে B বিন্দুর প্রতিবিম্ব B′ হইবে। শিখার A ও B বিন্দুর মধ্যস্থিত বিন্দুগুলি হইতে রশ্মিগুচ্ছ B′ ও A′র মধ্যে বিভিন্ন বিন্দুতে পড়ে। রশ্মিগুলি (বা সরলরেখা) O বিন্দুতে পরস্পর ছেদ (cross) করে বলিয়া আমরা পর্দায় AB শিখার উল্টা প্রতিবিম্ব A′B′ দেখিতে পাই। যদি আলোক তরঙ্গগুলি সরলরেখা পথে না যাইত তবে উল্টা প্রতিবিম্ব হইত না।

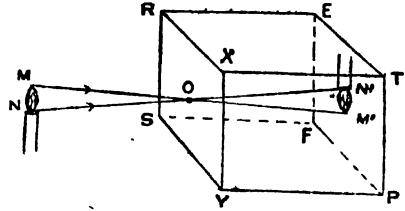
প্রতিবিম্বের আকার ছিদ্র হইতে পর্দার দূরত্বের সমানুপাতিক হয় অর্থাৎ

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{\text{ছিদ্র হইতে শিখার দূরত্ব}}{\text{ছিদ্র হইতে পর্দার দূরত্ব}} \cdots\cdots\cdots (১)$$

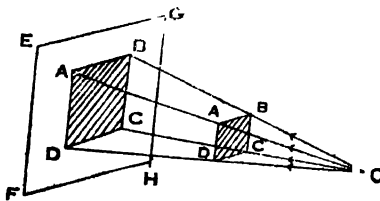
ইহা হইতেও প্রমাণ হয় যে **আলোক তরঙ্গ সরল রেখায় চলে।**

ছিদ্রের পরিসর বৃদ্ধির ফল (Effect of enlargement of the hole): O ছিদ্রের একটু দূরে দূরে কয়েকটি ছিদ্র করিলে প্রত্যেক ছিদ্রের জন্য শিখার এক একটি উল্টা প্রতিবিম্ব পর্দায় উৎপন্ন হইবে। ছিদ্রগুলি খুব কাছাকাছি হইলে প্রতিবিম্বগুলি একটা অপরটির উপর পড়িবে (overlapp)। এই প্রকারে পর্দার আলোকিত অংশ উজ্জ্বলতর হইবে কিন্তু প্রতিবিম্বগুলির সীমারেখা (outline) অস্পষ্ট হইবে। যখন ছোট ছিদ্রগুলি মিশিয়া একটি বড় ছিদ্র হইবে তখন প্রতিবিম্বগুলির সীমারেখা একবারেই দেখা যাইবে না। প্রতিবিম্বগুলির পরিবর্তে পর্দায় একটি সমভাবে আলোকিত (uniformly illuminated) অংশ দেখিতে পাইব। কারণ শিখার প্রত্যেক বিন্দু হইতে বহু রশ্মি বড় ছিদ্র অতিক্রম করিয়া পর্দায় একই বিন্দুতে বহু প্রতিবিম্ব উৎপন্ন করিবে। ইহাতে প্রতিবিম্ব কোনটাই বোঝা যাইবে না। অধিকন্তু সকল বিন্দুতে সমভাবে আলোকরশ্মি পড়ায় আলোকিত অংশ উজ্জ্বল দেখাইবে।

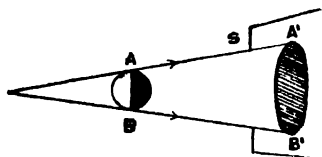
(৬) **সূচী-ছিদ্র ক্যামেরা :** ইহা একটি আয়ত ক্ষেত্রিক বাক্স RTSP। ইহার সম্মুখতল RYতে একটি সূচী-ছিদ্র O থাকে। ইহার বিপরীত EP তলে ঘসাকাচ কিংবা ফটোগ্রাফ-পাত (photo-plate) থাকে। বাক্সের ভিতরের

সব তল কাল রং করা থাকে, যাহাতে তল হইতে আলোর কোন প্রতিফলন না হয়। বাক্সের ভিতরে O ছিদ্র পথ ভিন্ন আলো প্রবেশ করিতে পারে না। ছিদ্রের সামনে যে কোন জিনিষ রাখিলে তাহার একটি উল্টা ছবি ফটোগ্রাফ পাতে উঠিবে। ইহাই ফটোগ্রাফির নীতি। তবে লেন্স ক্যামেরার চেয়ে অধিকক্ষণ আলো ফটোগ্রাফি পাতের উপর পড়িতে দিতে হয় কারণ ক্ষুদ্র ছিদ্র দিয়া কম পরিমাণ আলো প্রবেশ করে।

৪নং চিত্র

এই ক্যামেরার ছবিতে আসলের কোন বিকৃতি (distortion) হয় না।

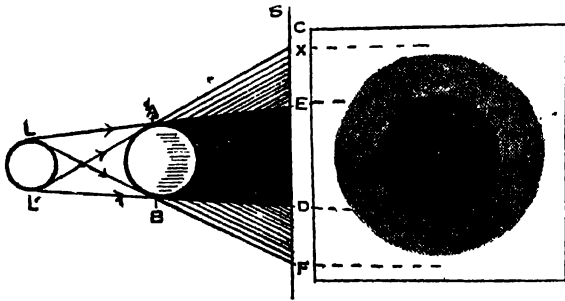
(চ) **ছায়া** (Shadows):—(১) **উৎপত্তির কারণ:** O একটি আলোক বিন্দু, ABCD একখণ্ড কার্ডবোর্ড, EFGH সাদা পর্দা। পর্দা হইতে Oকে দুই মিটার দূরে রাখ। কার্ডবোর্ডকে পর্দার সহিত সমান্তরালে O ও পর্দার মাঝখানে রাখ, দেখিবে সাদা পর্দায় A′B′C′D′ জায়গায় আলো পড়ে নাই, অন্ধকারে থাকে, কেন? কার্ডবোর্ড অস্বচ্ছ পদার্থ। ইহার মধ্য দিয়া আলোক-রশ্মি যায় না। আবার আলোক-রশ্মি সরল রেখায় গমন করে, সেইজন্য O হইতে ABCDর সীমারেখায় সকল বিন্দু স্পর্শ করিয়া যদি সরল রেখা টানা যায় তবে এই রেখাগুলি পর্দাকে যে যে বিন্দুতে স্পর্শ করিবে সেই বিন্দুগুলি অন্ধকারাচ্ছন্ন জায়গার সীমারেখা হইবে। আলোক-রশ্মি কার্ডবোর্ডের সীমা পার হইয়া বাঁকিয়া A′B′C′D′ জায়গায় পড়িতে পারে না। এই অন্ধকারাচ্ছন্ন জায়গাকে **ছায়া** বলে। অস্বচ্ছ পদার্থের ও ছায়ার জ্যামিতিক আকার একই হয়। সুতরাং **ছায়ার গঠন আলোক-রশ্মির সরল রেখাক্রমে গমন প্রমাণ করে।** মনে রাখিবে ABCD ও A′B′C′D′ এর মধ্যবর্তি সমস্ত জায়গাই অন্ধকারে থাকে।

৫নং চিত্র

(২) ছায়ার বিভিন্ন প্রকৃতি ঃ আলোর উৎসর বা দীপকের (source of light) ও অস্বচ্ছ পদার্থের আপেক্ষিক আকৃতির উপর ছায়ার আকৃতি ও প্রকৃতি নির্ভর করে। যথা—

(i) **বিন্দুবৎ আলোক ও বিস্তৃত অস্বচ্ছ পদার্থ** (Point source ও extended object): L আলোক বিন্দু, AB গোলাকার অস্বচ্ছ পদার্থ, S পর্দা ; L হইতে পদার্থের AB ব্যাস স্পর্শ করিয়া LA ও LB রেখা টান। ইহাদিগকে বর্ধিত করিয়া পর্দায় A′ ও B′ বিন্দুতে স্পর্শ করাও। LA ও LB রেখা দ্বারা সীমাবদ্ধ আলোক শঙ্কু (cone of light) AB পদার্থ দ্বারা বিচ্ছিন্ন হইবে এবং পর্দায় A′B′ গোলাকার ছায়া পড়িবে। এই ছায়া LA′ ও LB′ রেখা দ্বারা সীমাবদ্ধ হইবে। ছায়া সব সময়েই পদার্থের চেয়ে বড় হইবে এবং পর্দা যত দূরে সরান যাইবে ছায়ার আকার তত বাড়িবে। এই ছায়ার সব জায়গাতে সমান অন্ধকার দেখায়।

৬নং চিত্র

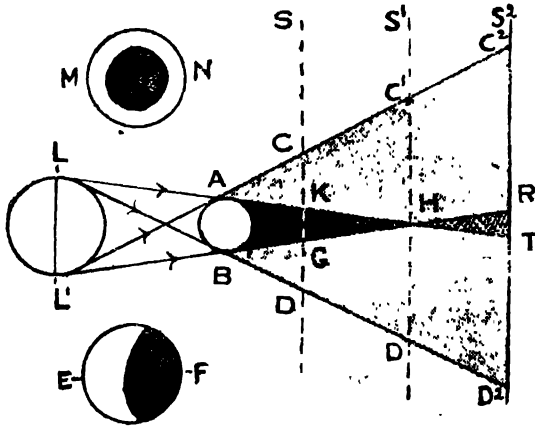
(ii) **বিস্তৃত আলোক কিন্তু অস্বচ্ছ পদার্থের চেয়ে ছোট** (Extended source but smaller than the object):

মনে কর LL′ আলোক, AB অস্বচ্ছ পদার্থ, ইহা LL′র চেয়ে বড়, C পর্দার অবস্থান। বিস্তৃত আলোক LL′কে কতকগুলি পাশাপাশি অবস্থিত আলোক বিন্দুর সমষ্টি ধরা যাইতে পারে। মনে কর L ও L′ এইরূপ দুইটি প্রান্ত (extreme) বিন্দু। LA, LB, L′A, L′B যোগ কর। এই রেখাগুলিকে বর্ধিত কর যাহাতে ইহারা পর্দাকে E, F, X ও D বিন্দুতে স্পর্শ করে। L বিন্দু হইতে বহির্গত এবং LA ও LB রেখা দ্বারা সীমাবদ্ধ আলোর অপসারী শঙ্কু AB দ্বারা বিচ্ছিন্ন হইবে। এইজন্য পর্দায় EF অংশে ছায়া পড়িবে। অনুরূপভাবে L′ বিন্দু হইতে বহির্গত এবং L′A ও L′B দ্বারা সীমাবদ্ধ আলোর অপসারী শঙ্কু AB দ্বারা বিচ্ছিন্ন হইবে, এই জন্য পর্দায় XD অংশে ছায়া পড়িবে। সুতরাং পর্দায় XF অংশ সাধারণ ছায়া হইলেও ইহার সব

অংশে অন্ধকারের গাঢ়তা সমান নহে। পর্দার ED অংশ আলোকের L, L' বিন্দু কিংবা তৎমধ্যবর্তি অন্য কোন বিন্দু হইতে মোটেই আলো পায় না সেইজন্য এই অংশ সম্পূর্ণ গাঢ় অন্ধকারে থাকে। ছায়ার ED অংশকে **প্রচ্ছায়া** (umbra) বলে। পর্দার ED অংশে যে কোন স্থানে ছিদ্র করিয়া ছিদ্রের পশ্চাতে চোখ রাখিলে আলোকের কোন অংশই দেখা যাইবে না। পর্দার XE or DF অংশের অবস্থা বিভিন্ন। এই অংশ দুইটি আলোকের কোন না কোন বিন্দু হইতে আলো পায় কিন্তু সব বিন্দু হইতে আলোক পায় না। এই অংশ দুইটি

৭নং চিত্র

আংশিক অন্ধকারে থাকে। ছায়ার এই অংশগুলিকে **উপচ্ছায়া** (Penumbra) বলে। যতই উপচ্ছায়ার মধ্য অংশ হইতে সীমার (X ও Fএর) দিকে যাওয়া যায় ততই আলোকের বেশী অংশ দেখা যায়। পর্দার XE কিংবা DF অংশের যে কোন স্থানের ছিদ্রের মধ্য দিয়া আলোকের কোন না কোন অংশ দেখা যাইবে। Xএর উপরে বা Fএর নীচের যে কোন ছিদ্র দিয়া সমস্ত আলোকই দেখা যাইবে। চিত্রের ডানদিকে ছায়ার সম্পূর্ণ প্রকৃতি দেখান হইয়াছে। মাঝখানে গোলাকার প্রচ্ছায়া, চারিপাশে গোলাকার উপচ্ছায়া। পর্দা ক্রমশঃ সরাইলে প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া উভয়েই আয়তনে বাড়িয়া যায়।

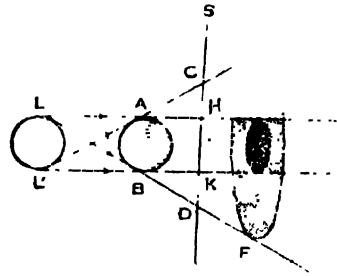
(iii) **বিস্তৃত আলোক অস্বচ্ছ পদার্থের চেয়ে বড়ঃ** মনে কর LL' আলোক, AB অস্বচ্ছ পদার্থ, S, S^1 ও S^2 পর্দার পর পর তিনটি বিভিন্ন অবস্থান। LL' আলোককে কতকগুলি বিন্দুর সমষ্টি ধরা যাইতে পারে।

LA, LB, L′A, L′B যোগ কর। এই রেখাগুলিকে বর্ধিত করিলে S পর্দাকে K, D, C, G বিন্দুতে স্পর্শ করিবে। L বিন্দু হইতে বহির্গত এবং LA ও LB রেখা সীমাবদ্ধ আলোর অপসারী শঙ্কু AB দ্বারা বিচ্ছিন্ন হইয়া S পর্দায় KD ছায়া উৎপন্ন করিবে। এইরূপ L′ বিন্দু হইতে বহির্গত এবং L′A ও L′B রেখা দ্বারা সীমাবদ্ধ আলোর অপসারী শঙ্কু AB দ্বারা বিচ্ছিন্ন হইয়া CG ছায়া উৎপন্ন করিবে। সুতরাং ছায়ার KG অংশে আলোকের কোন বিন্দু হইতে কোন আলোক রশ্মি পড়িবে না। KG অংশ **প্রচ্ছায়া**। CK এবং GD অংশ আংশিক আলোকিত হইবে। ইহারা **উপচ্ছায়া**। এখানে প্রচ্ছায়া অভিসারী শঙ্কু এবং উপচ্ছায়া অপসারী শঙ্কু। সুতরাং পর্দাকে AB হইতে

৮নং চিত্র

ক্রমশঃ সরাইলে প্রচ্ছায়া আয়তনে ক্রমশঃ কমিবে, উপচ্ছায়া ক্রমশঃ বাড়িবে। পর্দার S^1 অবস্থানে প্রচ্ছায়া H বিন্দুতে পরিণত হয়। H বিন্দু প্রচ্ছায়া শঙ্কুর শীর্ষ (apex). ইহার পর আর প্রচ্ছায়া থাকে না। ABH শঙ্কুকে বাড়াইলে একটি বিপরীত অপসারী শঙ্কু HRTর উদ্ভব হইবে। পর্দায় S^2 অবস্থানে RC^2 ও TD^2 অংশ উপচ্ছায়া কিন্তু R ও Tএর মধ্যবর্তি স্থান LL^1 আলোকের পরিধির নিকটস্থ (peripherical) অংশ হইতে আলো পাইবে কিন্তু আলোকের মাঝের অংশ হইতে কোন আলো পাইবে না। HRT শঙ্কু আংশিক আলোকিত হয়।

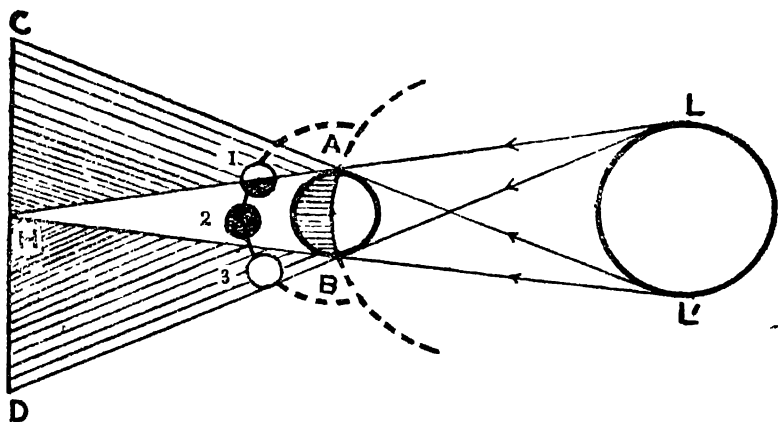
R ও Tএর মধ্যবর্তি যে কোন অংশ হইতে ABকে অন্ধকারাচ্ছন্ন দেখাইবে। তার চারিপাশে আলোকিত অংশ দেখা যাইবে (৮নং চিত্র)। পর্দা S^2 অবস্থান হইতে আরও সরাইতে থাকিলে উপচ্ছায়া আয়তনে বাড়িতে থাকিবে সুতরাং উপচ্ছায়ার অন্ধকারের গাঢ়তা কমিতে থাকে। পর্দাকে বহু দূরে লইয়া গেলে ছায়া এত পাতলা হইবে যে আলো ও ছায়ার পার্থক্য বোঝা যাইবে না। এইজন্য উজ্জ্বল সূর্য্যালোকে খুব উচ্চে উড্ডীয়মান পক্ষীর ছায়া বোঝা যায় না।

(iv) **আলোক ও অস্বচ্ছ বস্তু সমান আকৃতির:** LL′ আলোক AB অস্বচ্ছ পদার্থের সমান। পর্দার দূরত্ব-বৃদ্ধিতে প্রচ্ছায়া HKর আকৃতি অস্বচ্ছ পদার্থ ABর আকৃতির সমান হয় কিন্তু উপচ্ছায়া আয়তনে বাড়ে।

৯নং চিত্র

অতএব আমরা দেখি: (ক) আলোকের ও অস্বচ্ছ পদার্থের একই পার্শ্বস্থ প্রান্ত বিন্দুর (L ও A এবং L′ ও B) সংযোজক রেখা দুইটির মধ্যে একটি প্রচ্ছায়া থাকে। (খ) অস্বচ্ছ পদার্থের প্রত্যেক প্রান্ত বিন্দু ও আলোকের দুই প্রান্ত সংযোজক রেখা দুইটির মধ্যে দুইটি উপচ্ছায়া থাকে। (গ) আলোক বিন্দুবৎ হইলে ছায়ার কোন উপচ্ছায়া থাকে। ছায়ার সবটাই প্রচ্ছায়া হয়। (ঘ) আলোক অস্বচ্ছ পদার্থের চেয়ে বড় হইলে প্রচ্ছায়া অভিসারী শঙ্কু হয় এবং উপচ্ছায়া অপসারী শঙ্কু হয়। পর্দা সরাইলে প্রচ্ছায়ার আয়তন কমিয়া যায় এবং উপচ্ছায়ার আয়তন বাড়িয়া যায়। (ঙ) আলোক ছোট হইলে প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া দুইই অপসারী শঙ্কু হয়। পর্দা সরাইলে প্রচ্ছায়া ও উপচ্ছায়া দুইই আয়তনে বাড়িয়া যায়। (চ) আলোক ও অস্বচ্ছ পদার্থ সমান হইলে প্রচ্ছায়া সব সময়েই আয়তনে এক থাকে কিন্তু পর্দা সরাইলে উপচ্ছায়া আয়তনে বাড়ে।

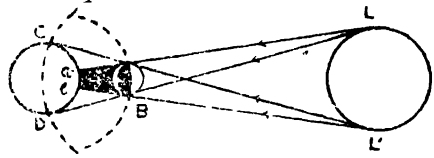
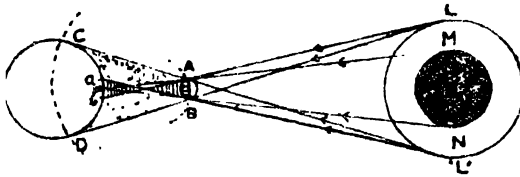
(চ) গ্রহণ (Eclipses): (i) গ্রহণের কারণ: গ্রহণ আলোক রশ্মির সরলরেখায় গমনের জন্য ছায়ার উৎপত্তির একটি প্রাকৃতিক দৃষ্টান্ত। সূর্য হইতে আলোক-রশ্মি চন্দ্র ও পৃথিবীতে পড়ে। চন্দ্র ও পৃথিবী অস্বচ্ছ ও

অপ্রভ পদার্থ। চন্দ্র পৃথিবীর চারিদিকে নিজ কক্ষপথে নির্দিষ্ট সময়ে একবার ঘুরিয়া আসে। চন্দ্রের কক্ষের তল ও পৃথিবীর কক্ষের তলের মধ্যে ৫° কোণের ব্যবধান থাকে। আবার পৃথিবী চন্দ্রকে লইয়া নিজ কক্ষপথে নির্দিষ্ট সময়ে সূর্যের চারিদিকে একবার ঘুরিয়া আসে। সূর্য পৃথিবী অপেক্ষা ১৩ লক্ষ গুণ বড়। পৃথিবী চন্দ্রের অপেক্ষা ৪৯ গুণ বড়। এইরূপ পরিভ্রমণের সময়ে যখন সূর্য ও চন্দ্রের মাঝে পৃথিবী আসিয়া পড়ে তখন সূর্যের আলোক রশ্মি পৃথিবীর দ্বারা বিচ্ছিন্ন হয়। চন্দ্রে পৃথিবীর ছায়া পড়ে। ইহাকে **চন্দ্রগ্রহণ** (Lunar ec lipse) বলে। সূর্য ও পৃথিবীর মধ্যে চন্দ্র আসিয়া পড়িলে চন্দ্র সূর্যকে আড়াল করিয়া দেয়। সূর্যকে দেখা যায় না। ইহাকে **সূর্যগ্রহণ** (Solar eclipse) বলে। মনে কর এখানে সূর্য দীপক, পৃথিবী অস্বচ্ছ পদার্থ, চন্দ্র পর্দা।

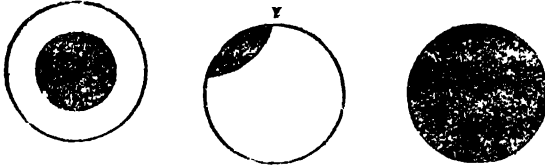
(ii) **চন্দ্রগ্রহণ:** আমরা জানি পূর্ণিমায় চন্দ্র ও সূর্যের মাঝে পৃথিবী আসে। সূর্য পৃথিবী অপেক্ষা অনেক বড় এবং উহারা উভয়েই গোলাকার সেইজন্য ৫নং অনুচ্ছেদের (iii) ২নং নিয়মানুসারে প্রচ্ছায়ার ও উপচ্ছায়ায় শঙ্কুর

১০নং চিত্র

উৎপত্তি হইবে। ১০নং চিত্রে LL′ সূর্য, AB পৃথিবী এবং ABH অংশ পৃথিবীর প্রচ্ছায়া, AHC এবং BHD উপচ্ছায়া। পরিভ্রমণকালে যখন চন্দ্র সম্পূর্ণরূপে পৃথিবীর প্রচ্ছায়ার মধ্যে আসিয়া পড়ে তখন চন্দ্রগ্রহণের **পূর্ণগ্রাস** হয়

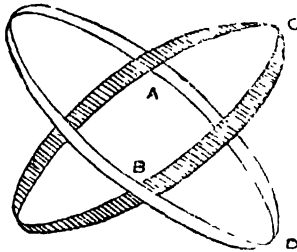
(চিত্রে 2) চন্দ্রের কতকাংশ প্রচ্ছায়ায় কতকাংশ উপচ্ছায়ায় থাকিলে চন্দ্রের **খণ্ডগ্রাস** (Partial Eclipse) হয় (চিত্রে 1)। খণ্ডগ্রাসে প্রচ্ছায়ায় মধ্যের অংশেই গ্রহণ হয়। চন্দ্রের সমস্ত অংশ উপচ্ছায়ায় থাকিলে চন্দ্রে ক্ষীণ ছায়াপাত হয় তাহা দেখা যায় না, কোন গ্রহণ হয় না। কেবল চন্দ্রের উজ্জ্বলতা কমিয়া যায়। পৃথিবীর আকৃতি এইরূপ যে পৃথিবীর প্রচ্ছায়ার শঙ্কুর শীর্ষ (H) সম সময়েই চন্দ্রের কক্ষপথের বাহিরে থাকে সুতরাং চন্দ্রের বলয়গ্রাস (annular eclipse) সম্ভব হয় না। (পরে দেখ)

(iii) **সূর্যগ্রহণঃ** ইহা তিন প্রকার: (ক) **পূর্ণ** (খ) **খণ্ড** (গ) **বলয়**। আমরা জানি অমাবস্যায় সূর্য ও পৃথিবীর মধ্যে চন্দ্র আসিয়া পড়ে। পৃথিবী সূর্য অপেক্ষা অনেক ক্ষুদ্র ও বহুদূরে। চন্দ্র পৃথিবী অপেক্ষা আরও ক্ষুদ্র সুতরাং চন্দ্রের ছায়া খুব ছোট হয়। বৃহৎ পৃথিবীর অতি সামান্য অংশই একই সময়ে চন্দ্রের প্রচ্ছায়ার মধ্যে থাকে এবং সেই অংশ হইতে সূর্যকে মোটেই দেখা যায় না। ১১নং চিত্রে পৃথিবীর *a b* অংশ হইতে সূর্যের **পূর্ণগ্রাস** দেখা যায়। C*a* A ও D*b*B উপচ্ছায়া অংশ হইতে সূর্যের **খণ্ডগ্রাস** দেখা যায়। পৃথিবীর যে গোলার্ধে রাত্রি হয় তাহার সকল স্থান হইতে পূর্ণ চন্দ্রগ্রহণ দেখা যায় কিন্তু পৃথিবীর যে গোলার্ধে দিন হয় তাহার সকল স্থান হইতে পূর্ণ সূর্যগ্রহণ দেখা যায় না। ১২নং চিত্রে চন্দ্রের প্রচ্ছায়ার শঙ্কু H বিন্দুতে শেষ হইয়াছে। উহাকে আরও বাড়াইলে বিপরীত শঙ্কু H*ab* উৎপন্ন হইবে। পৃথিবীর *ab* অংশ এই শঙ্কুর মধ্যে পড়ায় এই অংশ লইতে সূর্যের মধ্যখানে একটি অন্ধকারাচ্ছন্ন বৃত্তাকার

১১নং চিত্র

১২নং চিত্র

অংশ MN ও উহার চতুর্দিকে আলোকিত অংশ LL^1 দেখা যায়। মধ্যের বৃত্তাকার MN অংশকে **বলয়গ্রাস** বলে। *ab*এর বাহিরে উপচ্ছায়া অংশ হইতে খণ্ডগ্রাস দেখা যাইবে। চন্দ্র ও পৃথিবীর কক্ষপথ উপবৃত্ত সুতরাং পৃথিবী

১৩নং চিত্র

হইতে চন্দ্রের ও সূর্যের দূরত্ব কমে বা বাড়ে। চন্দ্র পৃথিবীর নিকটে আসিলে ও সূর্য দূরে যাইলে সূর্যের পূর্ণগ্রাস হয়: চন্দ্র দূরে যাইলে সূর্য নিকটে আসিলে সূর্যের বলয় গ্রাস হয়।

৭। **বৎসরের কোন সময়ে ও কতবার গ্রহণ হয়ঃ** যে কোন গ্রহণে চন্দ্র, সূর্য ও পৃথিবীকে একই সরল রেখায় আসিতে হইবে। কিন্তু দুইটি কারণে প্রত্যেক পূর্ণিমায় চন্দ্রগ্রহণ বা প্রত্যেক অমাবস্যায় সূর্যগ্রহণ হয় না। (ক) পৃথিবীর কক্ষতলের ও চন্দ্রের কক্ষতলের সমতলের মধ্যে ৫° ব্যবধান থাকে। ইহারা পরস্পর দুই বিন্দু **রাহু** ও **কেতুতে** (A ও B) ছেদ করে। যে পূর্ণিমায় বা অমাবস্যায় চন্দ্র রাহুর বা কেতুর উপর কিংবা নিকটবর্তি স্থানে আসে শুধু সেই পূর্ণিমা বা অমাবস্যায় গ্রহণ হয়। (খ) চন্দ্র ও সূর্য হইতে পৃথিবীর দূরত্ব কমে বা বাড়ে।

১৪নং চিত্র

প্রশ্ন

1. **Distinguish between umbra and penumbra. Indicate the formation of umbra and penumbra due to a spherical obstacle, when the source of light is a luminous sphere, (a) when the latter is larger**

than the obstacle (b) when it is smaller (c) when the spheres are equal (C. U. 1918, '29).

2. How would you demonstrate experimentally that light travels in straight lines. (C. U. 1948 ; Dac. 1923).

3. Describe a pinhole camera and explain its action. What is the effect of (a) enlarging the hole and doubling the distance from the small hole to the sensitive plate (C. U. 1930, Pat. 1933).

4. Give a general explanation of the eclipses of the sun and the moon. (Pat. 1925, '27 ; C. U. 1937).

5. Discuss the formation of shadows.

6. Discuss the reasons that may lead to the conclusion that light is a form of energy.

দীপ্তিমিতি (Photometry).

৮। **দীপ্তিমিতি :** আলোক শক্তি অন্যান্য শক্তির ন্যায় পরিমাপ যোগ্য রাশি। দীপ্তিমিতি কোন দীপকের (আলোকের উৎসকে দীপক বলে) দীপন-শক্তির (illuminating power) এবং কোন আলোকিত তলের দীপন-মাত্রার (intensity of illumination) বিষয় আলোচনা করে। **দীপ্তিমাপক** (Photometer) যন্ত্র দিয়া দীপন-শক্তি মাপা হয়।

৯। **কোন তলে পতিত আলোকের পরিমাণ :** কোন তল কোন দীপক দ্বারা সমভাবে আলোকিত (uniformly illuminated) হইলে তল কর্তৃক গৃহীত মোট আলোকের পরিমাণ Q নিম্নলিখিত বিষয়ের উপর নির্ভর করে :—(ক) **তলের ক্ষেত্রফল** S : একটি বাতির সম্মুখে এক সেণ্টিমিটার দূরত্বে A ও B তল রাখ। মনে কর A তলের ক্ষেত্রফল এক বর্গ সেণ্টিমিটার, B তলের ক্ষেত্রফল দুই বর্গ সেণ্টিমিটার। এখন A তলে পতিত মোট আলোকের পরিমাণ B তলে পতিত মোট আলোকের দ্বিগুণ হইবে। (খ) **দীপক হইতে তলের দূরত্ব** r **:** মনে কর A ও Bর ক্ষেত্রফল সমান এবং A-এর দূরত্ব ১ সেঃ মিঃ, B-এর দূরত্ব ২ সেঃ মিঃ। এখন B অপেক্ষা Aকে বেশী উজ্জ্বল দেখাইবে। (গ) **দীপকের দীপন-শক্তি** P **:** বাতির স্থলে তড়িতালোক রাখিলে দুই ক্ষেত্রফল বেশী উজ্জ্বল দেখাইবে। (ঘ) **তলের ও আলোক-রশ্মির**

মধ্যের কোণ ৫: তলটি আলোক-রশ্মির সহিত সমকোণে থাকিলে সর্বাপেক্ষা বেশী উজ্জ্বল হইবে। (কোন তল যত বেশী আলোক পায় তত বেশী উজ্জ্বল হয়।)

১০। **দীপন-মাত্রা:** কোন তলের কোন বিন্দুর চারিপাশে একক ক্ষেত্রফলের উপর একক সময়ে (সেকেণ্ডে) পতিত আলোকের পরিমাণকে বিন্দুর **দীপন-মাত্রা** বা **আলোর প্রখরতা** বলে।

মনে কর তলের ক্ষেত্রফল = S বর্গ সেঃ মিঃ, I = দীপন-মাত্রা বা প্রতি সেকেণ্ডে এক বর্গ সেঃ মিঃ ক্ষেত্রফলে পতিত আলোক, S ক্ষেত্রফলে প্রতি সেকেণ্ডে পতিত মোট আলোক = Q

$$\therefore I = \frac{\text{মোট আলোক}}{\text{মোট ক্ষেত্রফল}} = \frac{Q}{S} \ldots\ldots (২)।$$

আমরা জানি মোট আলোক Q কোন তলের দূরত্ব, দীপক-শক্তি ও তলের রশ্মির সহিত আনতির (inclination) উপর নির্ভর করে। ∴ দীপন-মাত্রাও এই তিনটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে।

১১। **দীপন-শক্তি বা নিঃসরণ মাত্রা** (Illuminating Power or Intensity of Emission): দীপক হইতে একক দূরত্বে স্থাপিত কোন তলের একক ক্ষেত্রফলের উপর একক সময়ে লম্বভাবে পতিত মোট আলোককে দীপকের **দীপন-শক্তি** (P) বলে। সুতরাং দীপক হইতে **একক** দূরত্বে রশ্মির সহিত লম্বভাবে স্থাপিত কোন তলের যে কোন বিন্দুর দীপন-মাত্রাই দীপকের দীপন-শক্তি।

১২। **দীপ-শক্তি** (Candle power C. P.): (ক) আমরা জানি প্রত্যেক রাশির একক থাকা প্রয়োজন, যাহার সঙ্গে তুলনা করিয়া রাশির সংখ্যা প্রকাশ করা হয়। দীপন-শক্তির একককে **দীপ-শক্তি** বলে।

কোন দীপকের দীপন-শক্তি **প্রমাণবাতির** (Standard Candle) দীপন শক্তি অপেক্ষা যতগুণ বেশী হয় সেই সংখ্যা দীপকের দীপ-শক্তি প্রকাশ করে। দীপ-শক্তি একটি অনুপাত বা সংখ্যা মাত্র। (আপেক্ষিক তাপ বা আপেক্ষিক ঘনাঙ্কের সঙ্গে তুলনা কর।)

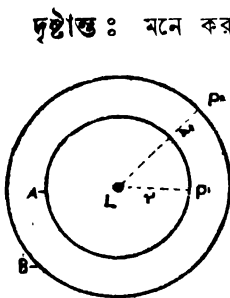
প্রমাণবাতির দীপন-শক্তিকে এক দীপ-শক্তি ধরা হয়। "একটি তড়িৎ আলোকের দীপ-শক্তি (C. P.) ২৫" বলিলে বোঝা যায় যে ২৫টি প্রমাণবাতি একসঙ্গে জ্বালিলে এক নির্দিষ্ট দূরত্বে অবস্থিত কোন বিন্দুতে যে উজ্জ্বলতা উৎপন্ন হইবে উক্ত তড়িৎ আলোকও সেই বিন্দুতে একই উজ্জ্বলতা উৎপন্ন করিবে।

(খ) **প্রমাণবাতি:** স্পার্মাসেটি মোমের $\frac{৭}{৮}$ ইঞ্চি ব্যাস বিশিষ্ট ও $\frac{১}{৬}$ পাউণ্ড ওজন বিশিষ্ট একটি বাতি ঘণ্টায় ১২০ গ্রেণ পুড়িয়া ক্ষয় হইলে এই বাতিকে **প্রমাণবাতি** বলে। বাতির শিখার দীপন-শক্তি অনেকগুলি বিষয়ের উপর নির্ভর করে যথা: বায়ুর উষ্ণতা ও চাপ, বায়ুতে বর্তমান জলীয় বাষ্প ও কারবন-ডাই-অক্সাইড ও বাতির পলিতার আকৃতি; সেইজন্য দীপন-শক্তির নির্ভুল গণনায় ইহা ব্যবহৃত হয় না যদিও 'প্রমাণ বাতি' সংগাটা ব্যবহৃত হয়। আজকাল **ভারনন-হারকোর্ট পেন্‌টেন বাতি** (Vernon-Hercourt Pentane Lamp) প্রমাণবাতিরূপে ব্যবহৃত হয়। এই বাতিতে নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ু ও Pentane বাষ্পের মিশ্রণ জ্বলে। প্যারাফিন হইতে উদ্বাহী Pentane তেল পাওয়া যায়। এই বাতির দীপন-শক্তি ১০ প্রমাণবাতি (C. P.). জার্মেণীতে Hefner Lamp প্রমাণবাতিরূপে ব্যবহৃত হয়। ইহাতে amyl acetate জ্বালান হয়।

১৩। **দীপন-মাত্রার একক:** F. P. S. প্রণালীতে দীপন-শক্তিকে (P) দীপশক্তিতে, দূরত্ব (d) সেন্টিমিটারে, দীপন-মাত্রা ফুটবাতি (foot-candle) এককে প্রকাশিত করা হয়। দীপন-মাত্রার একককে **ফুট-বাতি** (foot-candle) বলে। একটি এক ফুট ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট ফাঁপা গোলকের সাদা অভ্যন্তর পৃষ্ঠের একক ক্ষেত্রে গোলকের কেন্দ্রে স্থাপিত প্রমাণবাতি কর্তৃক বিক্ষিপ্ত আলোকের পরিমাণকে **ফুট-বাতি** বলে। ১ দীপ-শক্তি (C.P.) ১ ফুট দূরত্বে এক ফুট-বাতি দীপন-মাত্রা উৎপন্ন করে। ∴ ২০ দীপ-শক্তি (C.P.) ১০ ফুট দূরত্বে $\frac{২০}{১০^২}=\frac{১}{৫}$ ফুট-বাতি দীপন-মাত্রা উৎপন্ন করিবে। পূর্ণিমার চাঁদের আলো যাহা পৃথিবীর একক ক্ষেত্রে পড়ে তাহা এক ফুট-বাতি। সূর্য্যের আলো ৬০,০০০ ফুট-বাতি। C. G. S. প্রণালীতে P দীপ-শক্তিতে, d সেন্টিমিটারে ও দীপন-

মাত্রা সেন্টিমিটার বা মিটার-বাতি (metre candle) এককে প্রকাশিত হয়। লেখাপড়ার জন্য ৩ হইতে ৬ পর্যন্ত ফুট-বাতি আলো দরকার হয়। কোন তলের উজ্জ্বলতা মাপিবার আর একটি একককে **লুমেন** (Lumen) বলে। প্রমাণ বাতি হইতে এক ফুট দূরত্বে আলোক-রশ্মির অভিলম্বে স্থাপিত (placed normal to the rays) এক বর্গ ফুট ক্ষেত্রফলের উপর প্রতি সেকেণ্ডে পতিত আলোর পরিমাণকে **লুমেন** বলে। ∴ এক ফুটবাতি = প্রতি বর্গ ক্ষেত্রে এক লুমেন ∴ **লুমেন = ফুট-বাতি × বর্গফুট ক্ষেত্রফল**।

১৪। **ব্যস্তানুপাতিক বর্গ-সূত্র** (Law of Inverse Squares) :

কোন বিন্দুতে দীপন-মাত্রা কোন দীপক হইতে সেই বিন্দুর দূরত্বের বর্গফলের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয় (Intensity of illumination varies as square of the distance)। :

দৃষ্টান্ত : মনে কর L বিন্দু-দীপক (point source) হইতে সমস্বত্ব মাধ্যমের মধ্য দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে মোট Q একক আলো চতুর্দিকে সমভাবে (uniformly) নির্গত হয়। L বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া r_1 ব্যাস বিশিষ্ট একটি ফাঁপা গোলক A কল্পনা কর। A গোলকের ক্ষেত্রফল $4\pi r_1^2$ হইবে। Q আলোক এই ক্ষেত্রফলে সমভাবেই পতিত হইবে। কারণ একই Q পরিমাণ আলোক

১৫নং চিত্র

প্রত্যেক গোলকের মধ্য দিয়া যাইবে। কোন P′ বিন্দুতে দীপন-মাত্রা I_1

$$= \frac{Q}{\text{ক্ষেত্রফল}} = \frac{Q}{4\pi r_1^2}.$$ (∵ প্রতি একক ক্ষেত্রফলে প্রতি সেকেণ্ডে পতিত আলোককে দীপন-মাত্রা বলে (২ সমীকরণ)।

L বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া বৃহত্তর r_2 ব্যাস বিশিষ্ট B ফাঁপা গোলক কল্পনা কর এবং মনে কর A গোলক নাই। Q পরিমাণ আলোক B গোলকের ক্ষেত্রফল

$4\pi r_2^2$ তে সমভাবেই পতিত হইবে। এই ক্ষেত্রফলের যে কোন P_2 বিন্দুতে দীপন-মাত্রা $I_2 = \frac{Q}{\text{ক্ষেত্রফল}} = \frac{Q}{4\pi r_2^2}$

$$\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{Q}{4\pi r_1^2} \div \frac{Q}{4\pi r_2^2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \ldots\ldots(৩)$$

∴ দুই বিন্দুর দীপন-মাত্রা দীপক হইতে দূরত্বের ব্যস্তানুপাতিক হয়।

১৫। **দীপন-মাত্রা ও দীপন-শক্তির সম্পর্ক:** L দীপক বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া **একক দূরত্বে** একটি ফাঁপা গোলক C কল্পনা কর। এখানে Cএর ক্ষেত্রফলের যে কোন বিন্দুতে দীপন-মাত্রা $I = \frac{Q}{4\pi 1^2} = \frac{Q}{4\pi}$

কিন্তু দীপন-শক্তির সংগানুসারে এই দীপন-মাত্রা I = L দীপকের দীপন-শক্তি P ∴ $I = \frac{Q}{4\pi} = P$

$$\therefore \quad I_1 = \frac{P}{r_1^2} \text{ এবং } I_2 = \frac{P}{r_2^2} \text{ সাধারণভাবে। } I = \frac{P}{r^2} \cdots(৪)$$

কথায়, কোন বিন্দুতে দীপন-মাত্রা (I) = $\frac{\text{দীপকের দীপন-শক্তি (P)}}{\text{দীপক হইতে বিন্দুর দূরত্বের বর্গফল } (r^2)}$

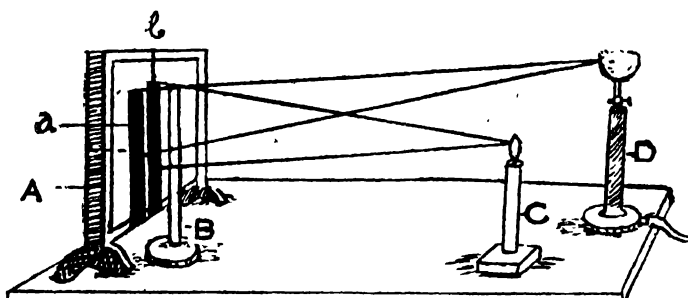
১৬। **দীপ্তিমিতির নীতি** (Principle of Photometry):

ব্যস্তানুপাতিক বর্গসূত্রের উপর ভিত্তি করিয়া দুইটি দীপকের দীপন-শক্তির তুলনা করা হয়।

মনে কর P_1 ও P_2 দীপন-শক্তি সম্পন্ন দুইটি দীপক একটি পর্দা হইতে r_1 ও r_2 দূরত্বে অবস্থিত হইয়া পর্দায় পাশাপাশি দুইটি অংশে একই উজ্জ্বলতা বা দীপন-মাত্রা I উৎপন্ন করে।

$$\therefore \quad I = \frac{P_1}{r_1^2} = \frac{P_2}{r_2^2} \quad \therefore \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2} \cdots(৫)$$

অর্থাৎ দুইটি দীপক বিভিন্ন দূরত্বে অবস্থিত হইয়া পর্দায় সমান দীপন-মাত্রা উৎপন্ন করিলে উহাদের দীপন-শক্তি পর্দা হইতে স্ব স্ব দূরত্বের বর্গের সমানুপাতিক হয়। যখন দুই দীপকের আলোর বর্ণ এক হয় এবং একই অবস্থায় আলোক পর্দায় পতিত হয় তখনই এই সমীকরণ খাটে।

১৭। **দীপ্তিমাপক বা ফটোমিটার** (Photometer): (ক) **Rumfordএর ছায়া ফটোমিটার: যন্ত্র:** এই যন্ত্রে সাদা খস্‌খসে (unglazed) কাগজের বা ঘসা কাচের লম্ব (vertical) A পর্দার সম্মুখে ও ৬ সেঃ মিঃ দূরে একটি অস্বচ্ছ দণ্ড B লম্বভাবে স্থাপিত থাকে। একটি গ্যাসের দীপক D ও একটি বাতির দীপক C এই দণ্ডের সম্মুখে এমন ভাবে রাখ যাহাতে উহারা পর্দায় B দণ্ডের দুইটি পাশাপাশি ছায়া *a* ও *b* উৎপন্ন করে। C দীপককে স্থির রাখিয়া D দীপককে সরাইয়া এমন জায়গায় রাখ যাহাতে দুইটি ছায়া *a* ও *b*

১৬নং চিত্র

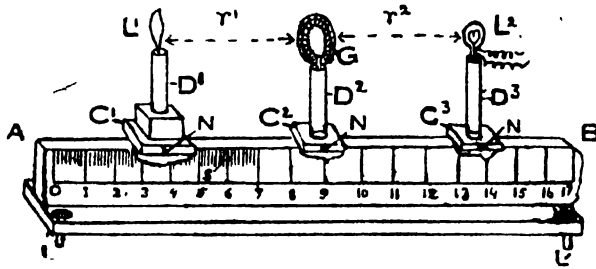
সমানভাবে অন্ধকারময় (equally dark) হয়। এখন গ্যাস দীপকের দ্বারা উৎপন্ন ছায়া *a* বাতি দীপকের দ্বারা আলোকিত হয় এবং বাতি দীপকের দ্বারা উৎপন্ন ছায়া *b* গ্যাস দীপকের দ্বারা আলোকিত হয়। দুইটি ছায়ার গভীরতা যখন একই তখন দুইটি দীপকের ছায়ার নিকটস্থ বিন্দুর দীপন-মাত্রা সমান।

গণনা: মনে কর পর্দা হইতে C ও Dএর দূরত্ব r_1 ও r_2 এবং উহাদের দীপনশক্তি P_1 ও P_2।

Cএর দরুণ পর্দায় দীপন-মাত্রা $= \frac{P_1}{r_1^2}$, Dএর দরুণ পর্দায় দীপন-মাত্রা $= \frac{P_2}{r_2^2}$.

$\frac{P_1}{P_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$ যদি C প্রমাণ বাতি হয় তবে $P_1 = 1$ এবং Dএর দীপন-শক্তি $P_2 = 1 \times \frac{r_2^2}{r_1^2}$ ·(৬)

r_1 ও r_2 স্কেল দিয়া মাপিয়া P_2 বাহির করা যায়।

(খ) **Bunsen**এর **তৈলচিহ্ন** (grease-spot) **ফটোমিটার: যন্ত্র:** এই যন্ত্রের প্রধান অংশ হইল **একটি বিশিষ্ট ধরণের বেঞ্চ**। এই বেঞ্চ আলোক সম্পর্কিত বহু পরীক্ষায় ব্যবহৃত হয় বলিয়া ইহাকে **Optical Bench** বলে। একটি অনুভূমিক কাষ্ঠখণ্ডের (bed) উপর মাঝামাঝি AB একটি লম্ব (vertical) ও সরল (straight) কাষ্ঠখণ্ড বা ধাতব খণ্ড জোড়া থাকে। এই দুই কাষ্ঠখণ্ড মিলিয়া একটি উল্টা T আকারের বেঞ্চ হয়। বেঞ্চটি দৈর্ঘ্যে প্রায় দু' তিন মিটার হয়। L' ও L স্ক্রু ঘুরাইয়া নীচের কাষ্ঠখণ্ডকে ঠিক অনুভূমিক করা হয়। AB বরাবর একটি স্কেল S থাকে অথবা ABর গায়ে স্কেলের দাগ কাটা

১৭নং চিত্র

থাকে। কতকগুলি আয়তক্ষেত্রিক C^1, C^2, C^3 কাষ্ঠখণ্ড (block) AB কাষ্ঠখণ্ডের দৈর্ঘ্য বরাবর সরিতে (slide) পারে। দুইটি পিতলের পাত ꓶ (উল্টা L) আকারে বাঁকাইয়া প্রত্যেক কাষ্ঠখণ্ডের নীচে জোড়া থাকে। ইহাতে ছোট কাষ্ঠখণ্ডগুলি AB কাষ্ঠখণ্ডকে আঁকড়াইয়া থাকিয়া এদিক-ওদিক সরিতে পারে।

প্রত্যেক কাষ্ঠখণ্ডের সঙ্গে হয় একটি নির্দেশক কাঁটা থাকে, না হয় কাষ্ঠখণ্ডের মাঝামাঝি একটি চিহ্ন (index) N থাকে। C^1, C^2, C^3 কাষ্ঠখণ্ডগুলির উপর D^1, D^2, D^3 লম্বদণ্ডে (stand বা upright) লেন্স, দর্পণ, পর্দা বা দীপক প্রভৃতি আলোক সম্পর্কিত দ্রব্য আটা থাকে। N চিহ্নের স্কেলে বিপরীত দাগ দেখিয়া বেঞ্চে এই সকল দ্রব্যের অবস্থান পড়া হয়। প্রথমে একটি পূর্ব হইতে মাপা দৈর্ঘ্যের দণ্ড (index rod) দিয়া দুইটি দ্রব্যের (যথা দুই দীপকের)

দূরত্ব মাপা হয়। পরে ঐ দুই দ্রব্যের সংলগ্ন N চিহ্নের অবস্থান স্কেলে পড়া হয়। দুই মাপের পার্থক্য হইবে **চিহ্ন-ভুল সংশোধন** (Index Error Correction)। কোন পরীক্ষার সময় প্রত্যেক বার স্কেলে পঠনের সহিত এই সংশোধন যোগ বা বিয়োগ করিতে হয়।

নীতি ও পরীক্ষা: একটি অমসৃণ অস্বচ্ছ সাদা কাগজের মাঝখানে এক ফোঁটা তেল বা গলিত মোম ফেল। ছুরি দিয়া মোম তুলিয়া ফেলিলে ঐ স্থানে ঈষৎ স্বচ্ছ (translucent) দাগ হইবে। কাগজখানিকে G ফ্রেমে আটকাইয়া D^2 দণ্ডে রাখ। ফ্রেমে আটকান কাগজকে **ফটোমিটার** বলে। D^1 ও D^3 দণ্ডে যথাক্রমে L^1 ও L^2 দীপক এমনভাবে রাখ যে দুই দীপকের কেন্দ্র ও কাগজের কেন্দ্র একই অনুভূমিক সরল রেখায় থাকে। কাগজের তৈলচিহ্ন কাগজের অপর অংশ হইতে বেশী স্বচ্ছ সুতরাং তৈলচিহ্নের মধ্য দিয়া অপর অংশ অপেক্ষা বেশী আলোক অতিক্রম করে, কম আলোক বিক্ষিপ্ত হয়। এই গুণের ফলে তৈলচিহ্নের তিনটি অবস্থা হয় যথা:—(ক) কাগজের একদিকে একটি দীপক রাখিয়া অপর দিকে চোখ রাখিয়া দেখিলে তৈলচিহ্নকে কাগজের বাকি অংশ অপেক্ষা **বেশী উজ্জ্বল** দেখাইবে। কারণ অপর দিকের দীপক হইতে কাগজের বাকি অংশ অপেক্ষা বেশী আপতিত (incident) আলো তৈলচিহ্ন অতিক্রম করিয়া আমাদের চোখে পড়িবে। (খ) কাগজের একই দিকে দীপক ও চোখ রাখিয়া দেখিলে তৈলচিহ্নকে কাগজের বাকি অংশ অপেক্ষা **বেশী অন্ধকার** (dark) দেখাইবে কারণ দীপক হইতে আপতিত আলোর বেশীর ভাগ তৈলচিহ্ন অতিক্রম করিয়া অপর পার্শ্বে চলিয়া যাইবে এবং কাগজের বাকি অংশ অপেক্ষা কম আলো বিক্ষিপ্ত হইয়া চোখে পড়িবে। (গ) একটি দীপককে এক জায়গায় স্থির রাখিয়া অপর দীপককে ধীরে ধীরে সরাও যতক্ষণ না তৈল-চিহ্নকে দুই দিক হইতেই কাগজের অপর অংশের মত সমান উজ্জ্বল দেখায়। নিম্নলিখিত উপায়ে প্রমাণ করা যায় যে এই অবস্থায় দুই দীপকের দরুণ কাগজের যে কোন বিন্দুতে দীপন-মাত্রা সমান হইবে।

গণনা: মনে কর L_1 ও L_2 দীপকের P_1 ও P_2 দীপন-শক্তি ; r_1 ও r_2 = কাগজ হইতে L_1 ও L_2এর দূরত্ব ; q_1 ও q_2 = L_1 ও L_2 হইতে একক

সময়ে কাগজের একক ক্ষেত্রফলে পতিত আলোর পরিমাণ = দীপন-মাত্রা ; x, y = আপতিত একক পরিমাণ আলোর ভগ্নাংশ যাহা যথাক্রমে অমসৃণ (ungreased) অংশ ও তৈলচিহ্ন হইতে বিক্ষিপ্ত হইয়া চোখে পড়ে। $\therefore (1-x)$ ও $(1-y)$ = আপতিত একক পরিমাণ আলোর ভগ্নাংশ যাহা যথাক্রমে অমসৃণ অংশ ও তৈলচিহ্ন অতিক্রম করিয়া চলিয়া যায়।

$\therefore$ L^1এর দিকে চোখ রাখিলে L^1 হইতে আপতিত আলোর $q_1 \times y$ অংশ তৈলচিহ্নের একক ক্ষেত্রফল দ্বারা বিক্ষিপ্ত হইয়া চোখে পড়ে এবং L^2 হইতে আপতিত আলোর $q_2 \times (1-y)$ অংশ তৈলচিহ্নের একক ক্ষেত্রফল অতিক্রম করিয়া চোখে পড়ে।

$\therefore$ তৈলচিহ্নের একক ক্ষেত্রফল হইতে চোখে পতিত আলোর পরিমাণ $= q_1 . y + q_2 (1-y)$.

এইরূপ অমসৃণ অংশের একক ক্ষেত্রফল হইতে চোখে পতিত আলোর পরিমাণ $= q_1 x + q_2(1-x)$.

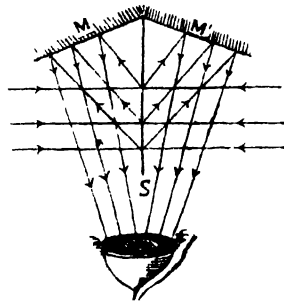
পরীক্ষায় দেখিয়াছি অমসৃণ অংশ ও তৈলচিহ্ন অংশ সমান উজ্জ্বল হয়।

$$\therefore \quad q_1 y + q_2(1-y) = q_1 x + q_2(1-x)$$
$$\text{or} \quad q_1(y-x) = q_2(y-x) \quad \text{or} \quad (q_1 - q_2)(y-x) = 0$$

এখানে y ও x সমান নয় সুতরাং $y-x$এর মান 0 হইতে পারে না।

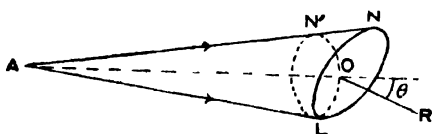
$$\therefore \quad q_1 - q_2 = 0 \quad \text{or} \quad q_1 = q_2$$

$$\frac{P_1}{P_2} \quad \frac{\quad}{r_2} \quad \cdots \quad (৭)$$

স্কেল দিয়া r_1 ও r_2 মাপ। এখন (৫) হইতে P_1 ও P_2র অনুপাত বাহির কর। P_1 জানা থাকিলে P_2 বাহির করা যায়। কাগজের দুই ধারের উজ্জ্বলতা একই সঙ্গে দেখিবার সুবিধার জন্য কাগজের ফ্রেমের (S) সঙ্গে দুই পাশে সমান কোণে নত দুইটি সমতল দর্পণ M ও M′ (plane mirrors) জোড়া থাকে। কাগজের দুই ধার দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া একই সঙ্গে চোখে পড়ে। (১৮নং চিত্র)

১৮নং চিত্র

১৮। **ব্যস্তানুপাতিক বর্গ-সূত্রের সত্যতা নিরূপণ** (Verification of the Law of Inverse Squares) : (ক) Bunsen ফটোমিটারে তৈল চিহ্ন পর্দার একধারে একটি বাতি A এবং অপর ধারে একটি C কাষ্ঠখণ্ডের উপর ছিদ্র করিয়া এক সঙ্গে চারটি একই দীপন-শক্তির বাতি রাখ। মনে কর চারটি বাতি একত্রে B। এখন Bএর উজ্জ্বলতা Aএর উজ্জ্বলতার চার গুণ। বেঞ্চের এক জায়গায় Aকে স্থির রাখিয়া Bকে সরাও যতক্ষণ সমগ্র কাগজকে দুই ধার হইতে সমান উজ্জ্বল না দেখায়। এখন কাগজের ফ্রেম হইতে A ও Bএর দূরত্ব মাপ। দেখিবে B-এর দূরত্ব $=2\times$ Aএর দূরত্ব। অর্থাৎ একটি বাতি যতদূরে থাকে চারটি বাতি তার দ্বিগুণ দূরত্বে থাকিয়া পর্দায় একই দীপনমাত্রা উৎপন্ন করে। অথবা একটি বাতি a দূরত্বে থাকিয়া যত দীপনমাত্রা উৎপন্ন করিবে $2a$ দূরত্বে যাইলে তার সিকি দীপন-মাত্রা উৎপন্ন করে অর্থাৎ $I \propto \frac{1}{r^2}$। ইহাই সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করে।

দ্রষ্টব্য : (ক) Rumford ফটোমিটারে পর্দার একধার দেখা হয়। পরীক্ষাধীন আলোক ব্যতীত বাহিরের অন্য আলোক দ্বারা দুইটি ছায়া সমভাবে প্রভাবান্বিত হয়। সুতরাং পরীক্ষার জন্য অন্ধকার ঘরের দরকার হয় না। Bunsen ফটোমিটারে পর্দার দুই ধার তুলনা করা হয়। দুই ধার অন্য আলোক দ্বারা বিভিন্নভাবে প্রভাবান্বিত হয়। সুতরাং পরীক্ষার জন্য অন্ধকার ঘরের দরকার হয়। (খ) এই সকল পরীক্ষায় আমরা ধরিয়া লই যে দীপক হইতে আলো সমভাবেই নির্গত হয়। ইহা ঠিক নহে। (গ) দীপনমাত্রা বা ছায়া তুলনা করিতে হইলে সব দীপকের আলোর বর্ণ এক হওয়া দরকার।

১৯। **নত রশ্মির দীপন-মাত্রা** (Intensity for oblique rays) :

১৯নং চিত্র

আমরা এ পর্যন্ত ধরিয়া লইয়াছি যে আলোক-রশ্মি কোন তলে লম্বভাবে পড়ে। মনে কর A বিন্দু-দীপক হইতে কোন রশ্মিগুচ্ছ NL তলে OR অভিলম্বের সহিত θ কোণে পড়ে। গণিত হইতে প্রমাণ করা যায় যে

যদি I_1 = নত রশ্মির দীপন-মাত্রা হয়, r = NL তলের দীপক হইতে দূরত্ব হয়, এবং P = দীপকের দীপন-শক্তি হয় তবে $I_1 = \frac{P}{r^2}\cos\theta$. (৮)। আমরা জানি θ যত বাড়িবে $\cos\theta$ তত কমিবে সুতরাং কোন তলেব দূরত্ব নির্দিষ্ট থাকিলে রশ্মি যত বাঁকিবে তত আলোকের উজ্জ্বলতা কমিবে। সেইজন্য দুপুরের চেয়ে বৈকালে বা সকালে সূর্য রশ্মির উজ্জ্বলতা কম থাকে।

২১। কাচের পাতের মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত আলোর অংশ (Percentage of light transmitted through a glass plate): ১৭নং চিত্রে L^1 দীপক ও G পর্দার মধ্যে একটি কাচের পাত রাখ। সুতরাং এই পাতের জন্য L^1 দীপক হইতে কম আলো G পর্দায় পড়িবে। এইদিকে দীপন-মাত্রা কমিয়া যাইবে। এখন L^1 দীপককে পর্দার দিকে সরাইয়া আন যাহাতে আবার কাগজে দুই ধারে সমান দীপন-মাত্রা উৎপন্ন হয়। মনে কর পর্দা হইতে L^1 এর প্রাথমিক দূরত্ব r_1 ও শেষ দূরত্ব = x

$\therefore$ প্রথম দীপন-মাত্রা = $\frac{P}{r_1^2}$, শেষ দীপন-মাত্রা = $C\times\frac{P}{x^2}$ (C = পাতের মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত আলোর অংশ, P = L^1 দীপকের দীপন-শক্তি); L^2 একই অবস্থানে থাকায় এই দুই দীপন-মাত্রা সমান হয়।

$$\therefore \frac{P}{r^2} = \frac{CP}{x^2} \quad \therefore C = \frac{x^2}{r^2}. \qquad \therefore \text{ শতকরা অংশ} = 100\,\frac{x^2}{r^2}.$$

অঙ্ক: 1. A standard candle and a gas flame are placed 6 ft. apart, the gas flame being of 4 C. P. Where must a screen be placed on the line joining the candle and the gas flame so that it may be equally illuminated? (C. U. 1931).

মনে কর প্রমাণবাতি হইতে পর্দার দূরত্ব = r ফুট।

$\therefore$ পর্দা হইতে গ্যাস আলোর দূরত্ব = $(৬-r)$ ফুট।

পর্দায় সমান উজ্জ্বলতা উৎপন্ন হয়। $\therefore \frac{১}{r^২} = \frac{৪}{(৬-r)^২}$

বা $r^২ + ৪r - ১২ = ০$ $\therefore$ $r = ২$ বা -৬

পর্দার দুইটি অবস্থান হইতে পারে যথা: (ক) প্রমাণবাতি হইতে ২ ফুট ডান দিকে। ∴ গ্যাস বাতি হইতে বাম দিকে ৪ ফুট (বুনসেন ফটোমিটার মত) (খ) প্রমাণবাতি হইতে বামদিকে ৬ ফুট এবং গ্যাস বাতি হইতে বাম দিকে ১২ ফুট (রামফোর্ড ফটোমিটারের মত)

2. In a grease-spot photometer light from a lamp with a dirty chimney is exactly balanced by that of a candle distant 10 cms from the spot. When the chimney is cleaned the candle has to be shifted by 2 cms to obtain a balance. Calculate the percentage of light absorbed by the dirty chimney. (P. U. 1931. A. U. 1924).

মনে কর $P_১$ ও $P_২$ যথাক্রমে ময়লা ও পরিষ্কার চিমনীযুক্ত ল্যাম্পের দীপন-শক্তি, r = ফটোমিটার হইতে ল্যাম্পের দূরত্ব, ১০ সেঃ মিঃ = ফটোমিটার হইতে বাতির দূরত্ব ∴ $\frac{P_১}{r^২} = \frac{১}{১০^২}$

সেইরূপ চিমনী পরিষ্কার হইলে, $\frac{P_২}{r^২} = \frac{১}{(১০-২)^২} = \frac{১}{৮^২}$

$$∴ \frac{P_১}{P_২} = \frac{৮^২}{১০^২} = \frac{৬৪}{১০০} \quad ∴ P_১ = \frac{৬৪}{১০০} P_২$$

∴ ময়লা চিমনী $\left(১ - \frac{৬৪}{১০০}\right) = \frac{৩৬}{১০০}$ ভাগ আলো

∴ শতকরা $১০০ \times \frac{৩৬}{১০০} = ৩৬$ ভাগ শোষণ করে।

3. A book is to be read from a distance of 4 ft. from a gas lamp for which the best intensity of illumination is taken to be 4 ft. candles. Assuming 25% of the light reaching the book come by reflection from the ceiling and walls, calculate the C. P. of the flame which should be used for the purpose.

পুস্তকে পতিত মোট আলোর শতকরা (১০০ − ২৫ =) ৭৫ ভাগ ল্যাম্প হইতে প্রত্যক্ষভাবে (directly) আসে। ∴ ল্যাম্পের দীপন-মাত্রা = $\frac{৪ \times ৭৫}{১০০}$ = ৩ ফুট বাতি

যদি P ল্যাম্পের দীপশক্তি হয় তবে ৪ ফুট দূরত্বে দীপন মাত্রা = $\frac{P}{৪^২}$ ফুট বাতি

∴ $\frac{P}{৪^২} = ৩$ ∴ P = ৪৮ ∴ ৪৮ দীপশক্তিসম্পন্ন গ্যাস ল্যাম্প চাই।

প্রশ্ন

1. What is meant by the intensity of illumination and illuminating power ? (D. U. 1932. C. U. 47.)

2. State what is meant by the candle power of a lamp and explain how it can be determined by a shadow Photometer. (C. U. 1941)

3. Prove experimentally the law of inverse squares. (A. U. 1919, D. U. 1930. C. U. 1941.)

4. Explain the principle of a grease-spot photometer. What is meant by candle power ? (C. U. 1928, '47). A 10 C. P. lamp is placed one metre from a surface. At what distance must a gas flame of 18 C. P. be placed so as to produce an equal illumination of the surface ? (C. U. 1928). (Ans. 1·26 metres).

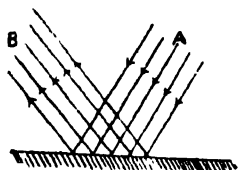
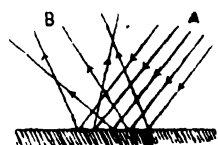
5. Two sources of light whose candle powers are in the proportion of 2 : 1 are 2 metres apart. At what position must a screen be placed in order that both sides may be equally illuminated ? (C.M.B) (Ans. 117 2 c. m. from higher C. P.)

6. Two equal sources of light are placed on opposite-sides of a screen one being 20 cms. from it and the other 30 cms. Compare the intensity of illumination on the two sides of the screen. (C. U. 1934) (Ans. 9 : 4).

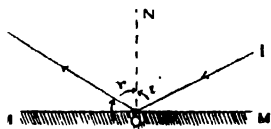
সমতলে আলোকের প্রতিফলন

(Reflection at Plane Surfaces)

২১। **প্রতিফলন :** সমস্বত্ব মাধ্যমে আলোক সরল রেখায় গমন করে কিন্তু যখন আলোক প্রথম মাধ্যম হইতে কোন দ্বিতীয় মাধ্যমের তলে আপতিত হয় তখন ইহা তিন ভাগে বিভক্ত হয় : (ক) আপতিত (incident) আলোকের কিয়দংশ দ্বিতীয় মাধ্যমের তল হইতে পুনরায় প্রথম মাধ্যমে ফিরিয়া আসে বা **প্রতিফলিত** (reflected) হয়। (খ) কিয়দংশ দ্বিতীয় মাধ্যমের তলে **শোষিত** (absorbed) হয়। (গ) কিয়দংশ দ্বিতীয় মাধ্যমের ভিতর দিয়া ভিন্ন পথে চলিয়া যায় বা **প্রতিসৃত** (refracted) হয়।

২২। প্রতিফলন দুই প্রকার: (ক) **নিয়মিত** (Regular) **প্রতিফলন:** কোন মসৃণ (smooth) তলে যথা দর্পণ (mirror) আলোক পড়িলে উহা কয়েকটি নিয়মে **নির্দিষ্ট পথে** প্রতিফলিত হয়। ইহাকে শুধু প্রতিফলনও বলা হয় (২০নং চিত্র)। (খ) **অনিয়মিত** (irregular) বা বিক্ষিপ্ত (diffused) **প্রতিফলন:** কোন অমসৃণ তলে (যথা দেওয়াল, ছাদ, কাগজ) আলোক পড়িলে উহা তলের যে কোন বিন্দু হইতে বিভিন্ন দিকে এলোমেলোভাবে ছড়াইয়া পড়ে। (২১নং চিত্র)। ইহাকে আলোর **বিক্ষেপন** (scattering) বলে। কোন স্বপ্রভ পদার্থের বিক্ষিপ্ত আলোকে আমরা অপ্রভ অস্বচ্ছ পদার্থ দেখিতে পাই।

২০নং চিত্র

২১নং চিত্র

অতএব আপতিত আলো—নিয়মিত প্রতিফলিত + বিক্ষিপ্ত + প্রতিসৃত + শোষিত আলো।

২৩। সংগা: মনে কর একটি আলোক রশ্মি IO একটি মসৃণ সমতলে (যেমন একটি দর্পণ) MMর O বিন্দুতে আপতিত হইয়াছে এবং OR বরাবর প্রতিফলিত হইয়াছে। MM তলের উপর O বিন্দুতে লম্ব ON টান। এখন IOকে **আপতিত** (incident) রশ্মি, ORকে **প্রতিফলিত** (reflected) রশ্মি, Oকে **আপতন বিন্দু** (point of incidence), ONকে আপতন বিন্দুতে **অভিলম্ব** (normal) বলে। আপতন বিন্দু Oতে অভিলম্ব ON ও আপতিত রশ্মি IOর মধ্যবর্তি কোণকে (∠ION বা ∠i) **আপতন কোণ** (angle of incidence) বলে। আপতন বিন্দু Oতে অভিলম্ব ON ও প্রতিফলিত রশ্মি ORর মধ্যবর্তি কোণকে (∠NOR বা ∠r) **প্রতিফলন কোণ** (angle of reflection) বলে।

২২নং চিত্র

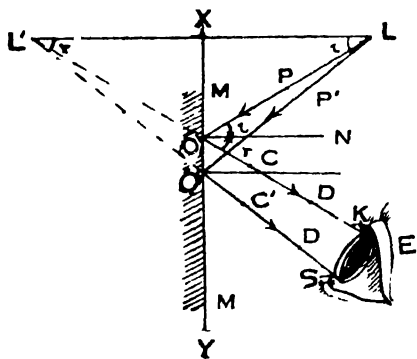
দ্রষ্টব্য : যে কোন মসৃণ তলকে **দর্পণ** বলে যথা আয়না, পারদ তল, চকচকে ধাতব পাত।

২৪। **প্রতিফলনের নিয়ম** (Laws of Reflection) : প্রতিফলন দুইটি নিয়ম দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় : (ক) আপতিত রশ্মি, আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব ও প্রতিফলিত রশ্মি একই সমতলে অবস্থিত হয়।

(খ) আপতন কোণ $\angle i =$ প্রতিফলন কোণ $\angle r$.

অভিলম্ব আপতন (Normal incidence) : যদি কোন রশ্মি কোন মসৃণ তলে অভিলম্বভাবে আপতিত হয় তবে উহা অভিলম্বভাবে প্রতিফলিত হইবে কারণ এক্ষেত্রে $\angle i = 0$, $\angle r = 0$.

২৫। **নিয়মের সত্যতা নিরূপণ** (Verification of the laws) : ইহা দুই উপায়ে করা যায় : (ক) পিনের দ্বারা। (খ) Hartleএর চাকতির দ্বারা।

(ক) **পিনের দ্বারা** (Pin Method) : অনুভূমিক অঙ্কন বোর্ডের (drawing board) উপর সাদা কাগজ আঁট। কাগজের উপর XY রেখা টান। একটি MM′ সমতল পাতলা দর্পণ কাগজের উপর লম্বভাবে রাখ যাহাতে দর্পণের মসৃণ(reflecting বা silvered) তল XY রেখা বরাবর থাকে। দর্পণের সম্মুখে দুইটি পিন L ও P কাগজে লম্বভাবে পোত যাহাতে LP সংযোজক রেখা দর্পণ তল আনতভাবে স্পর্শ করে। এইবার দর্পণের মধ্য দিয়া L ও

২৩নং চিত্র

P পিনের দুইটি প্রতিফলন দেখিতে পাইবে। চোখ সরাইয়া দর্পণের মধ্য দিয়া দেখ যতক্ষণ না দুইটি প্রতিফলন এক রেখায় হয় অর্থাৎ Pএর প্রতিফলন Lএর প্রতিফলনের ঠিক পশ্চাতে যায়। চোখকে এই অবস্থায় স্থির রাখিয়া

অপর দুইটি পিন C ও D পোত যাহাতে উপরোক্ত দুই প্রতিফলন এবং C ও D পিন একই রেখায় দেখা যায় অর্থাৎ D পিন C পিনকে ও দুই প্রতিফলনকে ঢাকিয়া দেয়।

পিনগুলির অবস্থান চিহ্ন কর। পিনগুলি ও দর্পণ সরাইয়া লও। LP রেখা ও CD রেখা টান এবং XY রেখার দিকে উহাদিগকে বর্ধিত কর। ইহারা XY রেখাকে একটি বিন্দুতে স্পর্শ করিবে। মনে ইহা O। O বিন্দুতে XYর উপর ON অভিলম্ব টান। এখানে LPO রেখা আপতিত রশ্মি, OCD প্রতিফলিত রশ্মি প্রকাশ করে। ∴ ∠LON = আপতন কোণ। ∠NOD = প্রতিফলন কোণ। এই দুই কোণ মাপিলে সমান দেখা যাইবে। ইহা হইতে দ্বিতীয় নিয়ম প্রমাণিত হয়।

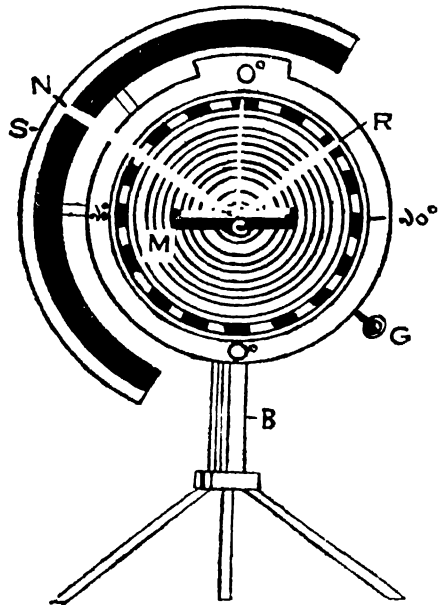
LPO, OCD, ON রেখাত্রয় যথাক্রমে আপতন রশ্মি ও প্রতিফলিত রশ্মি ও অভিলম্ব প্রকাশ করে। উহারা কাগজের তলে অবস্থিত। ইহা প্রথম নিয়ম প্রমাণ করে।

LP′O′ ও O′C′D′ রেখা দিয়াও উপরোক্ত ভাবে নিয়মগুলি প্রমাণ করা যায়।

প্রথম নিয়মটি নিম্নলিখিত উপায়েও প্রমাণ করা যায়: L ও P পিন দুইটি এমন ভাবে পোত যাহাতে উহাদের মাথা বোর্ড হইতে একই উচ্চতায় থাকে। C ও D পিন দুইটি এমন ভাবে পোত যাহাতে ইহাদের মাথা L ও P পিনের প্রতিফলনের মাথা ঠিক ঢাকিয়া রাখে। এখন মাপিয়া দেখা যাইবে C ও D পিনের মাথা বোর্ড হইতে L ও P পিনের মাথার সমান উচ্চতায় আছে।

দ্রষ্টব্য: দর্পণের সম্মুখ তল হইতে খুব কম রশ্মি প্রতিফলিত হয়। দর্পণের পশ্চাৎ ভাগে মশলার প্রলেপ দিয়া থাকে (silvered) এবং পশ্চাৎ ভাগ হইতে অধিকাংশ রশ্মি প্রতিফলিত হয় কিন্তু রশ্মির প্রতিসরণের জন্য দর্পণের বেধকে (thickness) প্রকৃত বেধের ⅔ বলিয়া বোধ হয়। অতএব দর্পণের পশ্চাৎ ভাগ হইতে প্রকৃত বেধের ⅔ ভাগ বাদ দিয়া XY রেখার উপর রাখা হয়।

(খ) Hartleএর আলোক-চাক্তি (Optical Disc)ঃ

যন্ত্র ঃ একটি সমতল বৃত্তাকার (Plane circular) **চাক্তি** O লম্বভাবে একটি শক্ত ভারী দণ্ড Bর উপর স্থাপিত আছে। ইহাকে কেন্দ্রগত একটি অনুভূমিক অক্ষের চারিপাশে লম্বতলে (vertical plane) G হাতল দিয়া ঘুরান যায়। চাক্তির তলকে একটি অনুভূমিক ব্যাস (৯০° – ৯০°) ও একটি লম্ব ব্যাস (O° – O°) দ্বারা চারি অংশে ভাগ করা আছে। প্রত্যেক অংশ O° হইতে ৯০° পর্যন্ত অংশাঙ্কন করা থাকে। চাক্তির ধারে N বড় ছিদ্র (aperture) যুক্ত একটি অর্ধ বৃত্তাকার ধাতব পর্দা S আছে। N ছিদ্র একটি ঢাক্না (slide) দিয়া বন্ধ করা যায়। ঢাক্নায় আবার এক বা ততোধিক সূক্ষ্ম ছিদ্র (slits) আছে। এই ছিদ্র দিয়া আলোকরশ্মি আসিতে পারে। একটি পাতলা সমতল দর্পণ M চাক্তির কেন্দ্র

২৪নং চিত্র

Cতে এমনভাবে রাখা হয় যে দর্পণের উপরতল ৯০° – C – ৯০° ব্যাস বরাবর থাকে। একটি সূক্ষ্ম রশ্মিগুচ্ছ পর্দার সূক্ষ্ম ছিদ্র দিয়া চাক্তির লম্বতল বরাবর আসিয়া দর্পণের ঠিক মাঝখানে পড়ে। চাক্তির কেন্দ্রে O°-C ব্যাসার্ধ দর্পণের উপর অভিলম্ব হয়।

পরীক্ষা ঃ একটি সমতল দর্পণ হইতে প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ NCকে সূক্ষ্ম ছিদ্র দিয়া দর্পণে পড়িতে দাও। ইহা চাক্তির লম্বতল বরাবর আসে। ইহা অভিলম্ব COর অপর দিকে CR বরাবর প্রতিফলিত হয়। প্রতিফলিত রশ্মিও

চাকতির গা বরাবর যায়। অতএব আপতিত রশ্মি, অভিলম্ব ও প্রতিফলিত রশ্মি একই তলে (চাকতির তলে) থাকে। (প্রথম নিয়ম)

আপতন কোণ ও প্রতিফলন কোণের মাপ চাকতির অংশাঙ্কন হইতে সোজাসুজি পড়িলে দেখা যাইবে যে উহারা সমান। পর্দাকে স্থির রাখিয়া চাকতিকে ঘুরাইলে দর্পণও ঘুরিবে, আপতন কোণ ও সঙ্গে সঙ্গে আনুসঙ্গিক প্রতিফলন কোণ পরিবর্তিত হইবে। কিন্তু প্রত্যেক ক্ষেত্রে উহারা সমান হয়। (দ্বিতীয় নিয়ম)

২৭। **আলোক রশ্মির প্রত্যাগমন** (Reversibility) : ২২নং চিত্রে $\angle ION = \angle RON$। সুতরাং IO ও RO রশ্মিদ্বয়ের যে কোন রশ্মি আপতিত রশ্মি হইলে অপরটি আনুসঙ্গিক প্রতিফলিত রশ্মি হইবে। অতএব আলোকের পথ উল্টান (reverse) যায়।

২৮। **আলোকীয় প্রতিবিম্ব** (Optical Image) : প্রায়ই দেখা যায় যে দীপক-বিন্দু (point source) হইতে রশ্মিগুচ্ছ বহির্গত হইয়া কোন তল হইতে প্রতিফলনের বা প্রতিসরণের পর উহাদের অভিমুখ এরূপভাবে পরিবর্তিত হয় যে প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত রশ্মিগুচ্ছ হয় প্রকৃতই একটি দ্বিতীয় বিন্দুর অভিমুখে যায় কিংবা একটি দ্বিতীয় বিন্দু হইতে আসে বলিয়া মনে হয়। এই দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর **প্রতিবিম্ব** (বা শুধু **বিম্ব**) (Image) বলে। প্রতিবিম্ব দুই প্রকার :—

(ক) **অসদ্ বিম্ব** (Virtual Image) : যখন এক অপসারী রশ্মি-গুচ্ছ কোন দীপক-বিন্দু হইতে বাহির হইয়া কোন দ্রব্যে প্রতিফলনের বা প্রতিসরণের পর নির্দিষ্ট দূরত্বে অবস্থিত দ্বিতীয় বিন্দু হইতে ভিন্ন পথে বাহির হয় বলিয়া মনে হয় তখন দ্বিতীয় বিন্দুকে **অসদ্ বিম্ব** বলে। ২৩নং চিত্রে L বিন্দু হইতে LO ও LO^1 রশ্মি MM^1 দর্পণে আপতিত হইয়া OD ও O^1D^1 পথে প্রতিফলিত হয়। ইহাতে মনে হয় L^1 বিন্দু হইতে OD ও O^1D^1 প্রতিফলিত রশ্মি আসিতেছে। L^1 বিন্দু হইল L বিন্দুর অসদ্ বিম্ব।

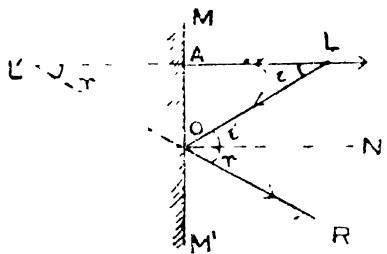
(খ) **সদ্ বিম্ব** (Real Image) : যখন কোন দীপক-বিন্দু হইতে অপসারী রশ্মিগুচ্ছ বাহির হইয়া কোন দ্রব্যে প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর নির্দিষ্ট দূরত্বে প্রকৃতই কোন দ্বিতীয় বিন্দুতে ভিন্ন পথে মিশে তখন দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর

সদ্‌বিম্ব বলে। অবতল দর্পণে (concave mirror) ফোকসের বাহিরে দ্রব্য থাকিলে এইরূপ বিম্ব উৎপন্ন হয় (৫১ (৬) অণুচ্ছেদ দেখ)

২৯। **দুই বিম্বের পার্থক্য :** সদ্‌বিম্ব রশ্মির প্রকৃত মিলনে উৎপন্ন হয়, পর্দায় এই প্রতিবিম্ব ফেলা যায়। ইহা আসল দ্রব্যের উল্‌টা আকৃতির হয়। অসদ্‌ বিম্ব কাল্পনিক রশ্মির মিলনে উৎপন্ন হয়। ইহার প্রকৃত অস্তিত্ব নাই, পর্দায় এই প্রতিবিম্ব ফেলা যায় না। ইহা আসল দ্রব্যের ন্যায় সোজা হয়।

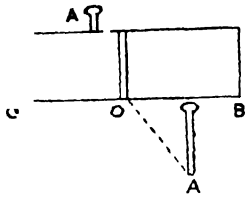
দ্রষ্টব্য : সূচী-ছিদ্র ক্যামেরার প্রতিবিম্ব আলোকীয় প্রতিবিম্ব (Optical image) নহে। কারণ :—(ক) ইহাতে রশ্মি ভিন্ন পথে যায় না। (খ) রশ্মির প্রতিফলন বা প্রতিসরণ হয় না। (গ) রশ্মিগুলি পর্দায় মিশে না। (ঘ) যে কোন দূরত্বে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়।

৩০। **সমতল দর্পণে গঠিত প্রতিবিম্ব :** (Image by a plane mirror) সমতল দর্পণে গঠিত দীপক-বিন্দুর প্রতিবিম্বের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য থাকে : (ক) ইহা বিন্দু হইতে দর্পণের উপর অঙ্কিত অভিলম্বের উপর থাকে। (খ) দর্পণ হইতে বিন্দুর ও প্রতিবিম্বের দূরত্ব সমান হয়। (গ) ইহা সর্বদাই অসদ্‌ প্রতিবিম্ব হয়।

(ক) **জ্যামিতিক প্রমাণ :** ২৫নং চিত্রে L একটি উৎস-বিন্দু, MM' একটি দর্পণ। মনে কর একটি রশ্মি LA অভিলম্বভাবে MM' দর্পণে A বিন্দুতে পড়ে। ইহা অভিলম্ব ভাবে AL বরাবর প্রতিফলিত হয় (২৫ অনুচ্ছেদ)

২৫নং চিত্র

মনে কর LO আর একটি আপতিত রশ্মি। LO আপতিত রশ্মির আনুসঙ্গিক প্রতিফলিত রশ্মি হইল OR। যদি প্রতিফলিত রশ্মি AL ও ORকে দর্পণের পশ্চাৎ দিকে বর্ধিত করা যায় তবে উহারা L' বিন্দুতে মিলিত হইবে। দর্পণের মধ্য দিয়া দেখিলে L' বিন্দু হইতে প্রতিফলিত রশ্মিগুলি আসে বলিয়া মনে হইবে। অতএব L' বিন্দু L বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব। O বিন্দুতে ON অভিলম্ব টান।

প্রতিফলনের নিয়মানুসারে $\angle LON = \angle NOR$, ON ও L′AL সমান্তরাল $\therefore\ \angle NOL = \angle OLA$; $\angle RON = \angle OL'A$ $\therefore\ \angle OL'A = \angle OLA$। AL′O ও ALO ত্রিভুজে $\angle OL'A = \angle OLA$, $\angle L'AO = \angle LAO$ (দুইই সমকোণ) এবং AO বাহু দুই ত্রিভুজেব সাধারণ বাহু। $\therefore$ ত্রিভুজ দুইটি সর্বতোভাবে সমান। $\therefore$ L′A = LA $\therefore$ L বিন্দু ও তাহার অসদ প্রতিবিম্ব L′ দর্পণ হইতে সমদূরত্বে অবস্থিত। L′ দীপক হইতে দর্পণের উপর অঙ্কিত অভিলম্বের উপর অবস্থিত।

(খ) **পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণঃ পিনের আপেক্ষিক অবস্থান বা লম্বন দেখিয়া** (Parallax Method)**:** অঙ্কন বোর্ডের উপর সাদা কাগজ আট। কাগজের উপর লম্বভাবে দর্পণ BC রাখ। দর্পণের উচ্চতার চেয়ে একটি বড় পিন A দর্পণের সম্মুখে পোত। অপর একটি এইরূপ বড় পিন A^1 দর্পণের পশ্চাতে A পিনের বিপরীত দিকে এমন স্থানে পোত যাহাতে A পিনের নিম্নাংশের প্রতিবিম্ব ও দর্পণের উপর হইতে দৃষ্ট A^1 পিনের উপর অংশ একই সরল রেখায় মনে হয়। চোখকে এপাশ ওপাশ সরাইয়া যে অবস্থানে A পিনের নিম্নাংশের প্রতিবিম্ব ও A^1 পিনের উপর অংশ মিশিয়া যায় সেই অবস্থান সঠিকভাবে বাহির কর।

২৬নং চিত্র

এই অবস্থানে চোখ ঘুরাইলে A পিনের নিম্নাংশের প্রতিবিম্ব ও A^1 পিনের উপর অংশের মধ্যে আপেক্ষিক স্থান পরিবর্তন দেখা যাইবে না অর্থাৎ কোন লম্বন (parallax) হইবে না। দর্পণের সম্মুখ তল বরাবর BC রেখা টান। দর্পণ সরাও। A ও A^1 পিনের অবস্থান চিহ্ন কর। পিন সরাও। A ও A^1 যোগ কর। BC ও AA^1 রেখা O তে পরস্পর কাটাকাটি করে। এখানে A বিন্দুর প্রতিবিম্ব হইল A^1। BOA^1 ও BOA কোণ মাপ। দেখ ইহারা সমকোণ হয়। A^1O ও OA মাপ। দেখ ইহারা সমান হয়।

অতএব কোন বিন্দু হইতে দর্পণের উপর অভিলম্ব টানিয়া ইহাকে দর্পণের পশ্চাতে সমদূরত্বে বর্ধিত করিলে এই রেখার শেষ বিন্দুতে প্রতিবিম্বের অবস্থান পাওয়া যায়।

দ্রষ্টব্য :—লম্বন (Parallax) : মনে কর ঠিক একটার সময় তুমি ঘড়ি দেখিতেছ। এখন ঠিক সোজাসুজি মিনিটের কাঁটার দিকে না তাকাইয়া যদি বাম দিক হইতে দেখ তবে ঘড়িতে ১২-১ মিঃ দেখিবে, যদি ডান দিক হইতে দেখ, তবে ১২-৫৯ দেখিবে। এখানে বিভিন্ন দিক হইতে দৃষ্ট কাটা ও ঘড়ির ছাপা অঙ্কের অবস্থানের আপেক্ষিক পার্থক্যকে লম্বন (Parallax) বলে। কাটা ও অঙ্ক সংস্পর্শে থাকিলে অবস্থানের কোন পার্থক্য হয় না। উপরোক্ত পরীক্ষায় A পিনের নিম্নাংশ ও প্রতিবিম্ব A′ পিনের উপরাংশ এক রেখায় সংস্পর্শে থাকিলে বিভিন্ন অবস্থানে চোখ রাখিয়া দেখিলে কোন লম্বন হইবে না।

৩১। **প্রতিবিম্বের রশ্মির পথ অঙ্কন :** (Tracing the path of rays by which an image is seen): ২৩নং চিত্র দেখ। এখানে MM দর্পণ, E চোখ, L দীপক-বিন্দু, L′ প্রতিবিম্ব। L′ হইতে E চোখের ব্যাসের দুই প্রান্ত বিন্দু K ও S পর্যন্ত রেখা টান। L হইতে LO ও LO′ রেখা দ্বারা সীমাবদ্ধ রশ্মিগুচ্ছ দর্পণে আপতিত হইয়া OK ও O′S রেখাদ্বারা সীমাবদ্ধ প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ চোখে প্রবেশ করিলে চোখ প্রতিবিম্ব L′ দেখিবে। প্রতিবিম্ব দেখিতে হইলে নিম্নলিখিত সর্ত থাকা চাই : (ক) দীপক-বিন্দুকে দর্পণের **সম্মুখে** যে কোন জায়গা রাখিতে হইবে। (খ) চোখ ও প্রতিবিম্ব সংযোজক রেখা দর্পণের উপর দিয়া যাইবে।

৩২। **কোন দ্রব্যের প্রতিবিম্ব :** কোন বস্তুকে অসংখ্য বিন্দুর সমষ্টি ধরা যায়। বস্তুর প্রত্যেক বিন্দুকে L বিন্দুর ন্যায় দীপক ধরিয়া একই নীতিতে রশ্মির পথ রেখা দ্বারা দেখাইলে প্রত্যেক বিন্দুর প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়। এই সকল প্রতিবিম্ব হইতে সমগ্র বস্তুর প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়।

৩৩। **পার্শ্বীয় পরিবর্তন বা উৎক্রম** (Lateral Inversion): আমরা কোন বড় আয়নার সম্মুখে দাঁড়াইয়া বাম হাত তুলিলে দেখিব প্রতিবিম্ব ডান হাত তুলিতেছে। আমাদের দেহের বাম ও ডান পার্শ্ব প্রতিবিম্বের যথাক্রমে ডান ও বাম পার্শ্ব হইয়া যায় অর্থাৎ প্রতিবিম্বে কেবল পার্শ্ব পরিবর্তন দেখা যায় কিন্তু দেহ ও প্রতিবিম্বে মাথা ও পা যথাক্রমে নীচে ও উপরে থাকে। ইহার কারণ দেহের ও প্রতিবিম্বের সম্মুখ ভাগ পরস্পর

মুখোমুখি থাকে এবং দেহের ও প্রতিবিম্বের আনুসঙ্গিক বিন্দু আয়না হইতে সমান দূরত্বে থাকে। পার্শ্ব পরিবর্তন হইলেও দেহের ও প্রতিবিম্বের একই আকার থাকে। চিত্রে P অক্ষরের উল্‌টা প্রতিবিম্ব হইয়াছে। কোন কাগজে আপনার নাম লিখিয়া কালি শুকাইবার পূর্বে ঐ কাগজকে ব্লটিং কাগজে চাপিলে ব্লটিং কাগজে লেখা উল্‌টাইয়া যাইবে। এই উল্‌টা লেখা আয়নার সম্মুখে ধরিলে প্রতিবিম্বে লেখা সোজা হইবে। দুইটি আয়না ব্যবহার করিলে দুইবার পার্শ্ব পরিবর্তন হইয়া কোন বস্তুর আসল ছবি পাওয়া যায়। প্রতিসম (Symmetrical) বস্তুর কোন পার্শ্বীয় উৎক্রম হয় না।

২৭নং চিত্র

৩৪। **প্রতিফলনের বিভিন্ন দৃষ্টান্ত:** (ক) **দর্পণের সর্বনিম্ন দৈর্ঘ্য (Least size of the mirror):** (১) কোন ব্যক্তির দৈর্ঘ্যের অর্ধ দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট দর্পণে সেই ব্যক্তি নিজের সমস্ত দেহের প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে।

(C. U. 1915, '25, '29 ; P. U. 1919).

প্রমাণ: মনে কর PQ রেখা দর্পণ, MN রেখা মানুষ, E তার চোখ প্রকাশ করে। PQকে S পর্যন্ত বর্ধিত কর। M হইতে QSর উপর লম্ব MR টান। MRকে M' পর্যন্ত বর্ধিত কর যাহাতে MR = RM' ∴ M বিন্দুর প্রতিবিম্ব হইল M' (৩০ অনুচ্ছেদ)। অনুরূপভাবে Nএর প্রতিবিম্ব হইল N'। M' ও N' যোগ কর। M' ও N'কে E এর সঙ্গে যোগ কর। মনে কর ইহারা PQকে P ও Q বিন্দুতে ছেদ করে। মানুষটার M হইল সর্বোচ্চ বিন্দু, N হইল সর্বনিম্ন বিন্দু; সুতরাং প্রতিবিম্বের M' ও N'

২৮নং চিত্র

যথাক্রমে সর্বোচ্চ বিন্দু ও সর্বনিম্ন বিন্দু। M হইতে MP রশ্মি দর্পণে P বিন্দুতে আপতিত হইয়া PE পথে প্রতিফলিত হইয়া E চোখে পড়ে এবং মনে হয় এই প্রতিফলিত রশ্মি M′ হইতে আসিতেছে। অনুরূপ ভাবে N হইতে NQ রশ্মি দর্পণে Q বিন্দুতে আপতিত হইয়া QE পথে প্রতিফলিত হইয়া E চোখে পড়ে এবং মনে হয় এই প্রতিফলিত রশ্মি N′ হইতে আসিতেছে। ∴ PQ = দর্পণের সর্বনিম্ন আকৃতি (size)। এইবার PQ ও MNএর সম্পর্ক বাহির করিব। MP ও NQ রেখা টান।

MR = M′R এবং PR ও ME সমান্তরাল ∴ M′P = PE।

∴ M′E এর মধ্য-বিন্দু হইল P। অনুরূপভাবে N′Eএর মধ্য-বিন্দু হইল Q। অতএব M′N′E ত্রিভুজে M′N′ এর অর্ধেক হইল PQ কারণ ইহারা সমান্তরাল বাহু। কিন্তু MN = M′N′ ∴ $PQ = \frac{1}{2}$ MN.

অর্থাৎ **মানুষের দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হইল দর্পণের দৈর্ঘ্য**।

(২) কোন মানুষ ঘরের কেন্দ্রে দাঁড়াইলে তার সামনের দেওয়ালে বিলম্বিত দর্পণের সর্বনিম্ন আকৃতি কত হইলে সে দর্পণে পিছনের দেওয়ালের পূর্ণ প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে? (C. U. 1929).

মনে কর সামনের RS দেওয়ালে PQ দর্পণ ঝুলিতেছে। ED দর্শকের E হইল চোখ, MN পশ্চাতের দেওয়াল। PQ বরাবর RS রেখা টান। দেওয়ালের সর্বোচ্চ বিন্দু M হইতে RSএর উপর MR লম্ব টান এবং ইহাকে M′ পর্যন্ত বর্ধিত কর যাহাতে RM′ = RM হয়। M′E যোগ কর। মনে কর M′E

২৯নং চিত্র

দেওয়ালকে P বিন্দুতে স্পর্শ করে। MP যোগ কর। সুতরাং দেওয়ালের সর্বোচ্চ বিন্দু M হইতে MP রশ্মি দর্পণে P বিন্দুতে আপতিত হইয়া PE রেখায় প্রতিফলিত হইয়া E চোখে পড়ে এবং মনে হয় M′ হইতে প্রতিফলিত রশ্মি PE আসিতেছে। সুতরাং Mএর প্রতিবিম্ব হইবে M′। RSর উপর NS লম্ব টান।

NSকে N′ পর্যন্ত বর্ধিত কর যাহাতে SN′ = SN। N′E যোগ কর। মনে কর ইহা দেওয়ালকে Q বিন্দুতে স্পর্শ করে। NQ যোগ কর। সর্বনিম্ন বিন্দু N হইতে NQ রশ্মি আপতিত হইয়া QE পথে প্রতিফলিত হইয়া E চোখে পড়ে এবং মনে হয় N′ হইতে প্রতিফলিত রশ্মি QE আসিতেছে। সুতরাং Nএর প্রতিবিম্ব হইবে N′ ∴ PQ হইল দর্পণের সর্বনিম্ন দৈর্ঘ্য। এখন PQ ও MNর সম্পর্ক বাহির করিব। M′N′ যোগ কর।

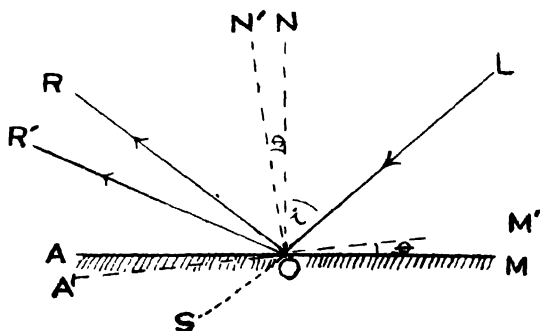
দর্শক ED ঘরের কেন্দ্রে দাঁড়াইয়া আছে। ∴ SD = SN = $\frac{1}{2}$ SN′ = $\frac{1}{2}$ N′D.

EDN′ ত্রিভুজে ED ও QS সমান্তরাল এবং SD = $\frac{1}{2}$ N′D . জ্যামিতি হইতে EQ = $\frac{1}{2}$ EN′। অনুরূপ ভাবে EP = $\frac{1}{2}$ EM′।

আবার EM′N′ ত্রিভুজে PQ = $\frac{1}{2}$ M′N′ = $\frac{1}{2}$ MN

অর্থাৎ **দর্পণের সর্বনিম্ন দৈর্ঘ্য = $\frac{1}{2}$ দেওয়ালের দৈর্ঘ্য।**

দ্রষ্টব্য ঃ। এইরূপ অঙ্কে প্রথমে চিত্র আঁকিয়া প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য বাহির কর। পরে জ্যামিতি হইতে প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্যের সহিত বস্তুর দৈর্ঘ্যের তুলনা কর।

(খ) **দর্পণের গতি** (Movement) ঃ (১) দর্পণকে যে কোণে আবর্তন করা যায় (is rotated), প্রতিফলিত রশ্মি তার দ্বিগুণ কোণে আবর্তিত হয়। (C. U. 1927, '41 ; D. U. 1928, '24).

৩০নং চিত্র

মনে কর AOM দর্পণের প্রথম অবস্থান এবং দর্পণের O বিন্দুতে LO আপতন রশ্মি। AOMএর উপর ON অভিলম্ব টান। মনে কর OR প্রতিফলিত রশ্মি এবং আপতন কোণ $\angle LON = \angle i$. ∴ প্রতিফলন কোণ $NOR = \angle i$।

মনে কর দর্পণের θ কোণে আবর্তনের পর দর্পণের অবস্থান হইল A′OM′। ON রেখাও θ কোণে অবর্তিত হইবে। A′OM′এর উপর N′O অভিলম্ব টান $\therefore \angle MOM' = \angle NON' = \theta$। মনে কর প্রতিফলিত রশ্মি হইল OR′ এই রশ্মি R′OR কোণে আবর্তিত হইবে। এখানে প্রমাণ করিতে হইবে $\angle R'OR = 2\theta$.

দর্পণের প্রথম অবস্থানে $\angle LON = \angle NOR = \angle i \; \therefore \; \angle LOR = \angle 2i$
দ্বিতীয় অবস্থানে $\angle LON' = \angle N'OR' = \angle i + \angle\theta$
$\therefore \quad \angle LOR' = \angle 2(i+\theta). \quad \therefore \quad \angle LOR' - \angle LOR = \angle R'OR = \angle 2\theta.$

এই নীতির সাহায্যে কোন দ্রব্যের সামান্য আবর্তন (rotation or deflection) মাপা যায়। আবর্তিত দ্রব্যের সহিত একটি ক্ষুদ্র দর্পণ জোড়া থাকে। দর্পণের উপর ক্ষুদ্র রশ্মিগুচ্ছ ফেলা হয়। দর্পণ হইতে আপতিত রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত হইয়া দর্পণ হইতে এক মিটার দূরে অবস্থিত একটি স্কেলে পড়ে। দর্পণসুদ্ধ দ্রব্য θ কোণে আবর্তিত হইলে প্রতিবিম্ব 2θ কোণে আবর্তিত হইবে। আবার দর্পণ হইতে স্কেল যতদূরে থাকিবে দর্পণের একই মাত্রা আবর্তনের জন্য প্রতিবিম্ব স্কেলে তত বেশী সরিবে। Sextant, Galvanometer প্রভৃতি যন্ত্রে এই নীতির সাহায্য লওয়া হয়। ইহাদিগের বিবরণ পরে দেওয়া হইয়াছে।

(২) (i) যদি স্থির সমতল দর্পণের সম্মুখে কোন দ্রব্য দর্পণ হইতে d দূরত্ব সরে তবে প্রতিবিম্ব একই দূরত্ব সরিবে। (ii) আর যদি দর্পণ ইহার অবস্থানের সমান্তরালে d দূরত্ব সরে এবং যদি দ্রব্য স্থির থাকে তবে প্রতিবিম্ব $2d$ দূরত্ব সরিবে। (C. U. 1923, '46 ; D. U. 1923).

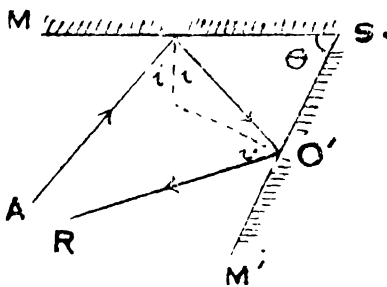
মনে কর দ্রব্যটি দর্পণের সম্মুখে d দূরত্বে আছে। $\therefore$ প্রতিবিম্ব দর্পণের পশ্চাতে d দূরত্বে থাকে।

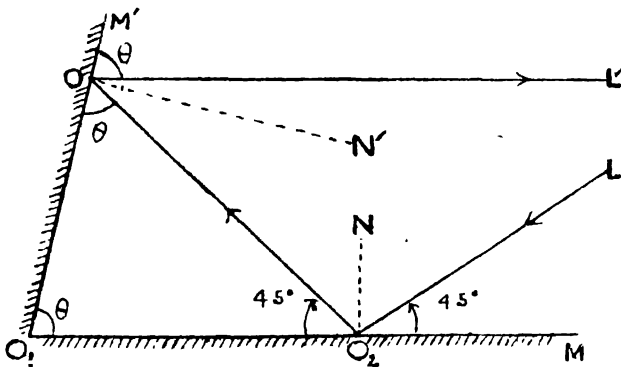
(i) যদি দ্রব্য দর্পণ হইতে d দূরত্ব সরে তবে দর্পণ হইতে দ্রব্যের নূতন দূরত্ব হইবে $d+x$। $\therefore$ প্রতিবিম্বের নূতন দূরত্ব হইবে $d+x$। $\therefore$ প্রতিবিম্ব পূর্বেকার অবস্থান হইতে d দূরত্ব সরে।

(ii) যদি দ্রব্য হইতে দর্পণ d দূরত্ব দূরে যায় তবে দ্রব্য তথা দ্বিতীয় প্রতিবিম্বের ও দর্পণের মধ্যে দূরত্ব হইবে $x+d$। দর্পণ ও প্রথম প্রতিবিম্বের দূরত্ব হবে $x-d$. $\therefore$ দুই প্রতিবিম্বের মধ্যে দূরত্ব $(x+d)-(x-d)=2d$.

(গ) প্রতিফলনে আলোক রশ্মির চ্যুতি (Deviation after reflection) :

(১) **একবার প্রতিফলনে**—৩০নং চিত্রে যদি দর্পণ AM না থাকিত তবে LO রশ্মি সোজা পথে OS অভিমুখে যাইত। কিন্তু দর্পণে প্রতিফলনের জন্য ইহা OR অভিমুখে যায়। ∴ রশ্মির অভিমুখ $\angle SOR = (\angle\pi - \angle LOR)$ $= (\pi - 2i)$ কোণে বদলাইয়া যায় ∴ রশ্মির **চ্যুতি** $= (\pi - 2i)$

(২) **দুইবার প্রতিফলনে :** মনে কর M ও M′ দুইটি দর্পণ S বিন্দুতে θ কোণে পরস্পর লাগিয়া আছে। মনে কর AO রশ্মি M দর্পণে O বিন্দুতে আপতিত হইয়া OO′ অভিমুখে প্রতিফলিত হইয়া M′ দর্পণে O′ বিন্দুতে পড়ে এবং M′ দর্পণ হইতে O′R অভিমুখে দ্বিতীয়বার প্রতিফলিত হয়। ∴ AO রশ্মির O বিন্দুতে চ্যুতি $= \angle\pi - 2i$, O বিন্দুতে OO′ রশ্মির চ্যুতি $= \angle\pi - 2i'$ (এখানে i, i' যথাক্রমে AO ও OO′ রশ্মির M ও M′ দর্পণে আপতন কোণ) ∴ মোট চ্যুতি $=$

৩১নং চিত্র

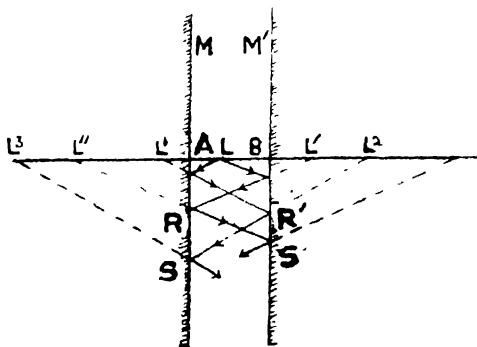
৩২নং চিত্র

$(\pi - 2i) - (\pi - 2i') = 2\pi - 2\,(i + i')$। চিত্র হইতে দেখা যায় যে $\theta = i + i'$;

∴ দুইবার প্রতিফলনের পর চ্যুতি $= 2\pi - 2\theta$. এখানে ধরিতে হইবে যে AO, OO′ ও O′R রশ্মি একই সমতলে অবস্থিত।

অঙ্ক : Rays of light strike a horizontal plane mirror at an angle of 45°. Show how you would arrange a second mirror in order that the reflected ray may finally be reflected horizontally. (P. U. 1932).

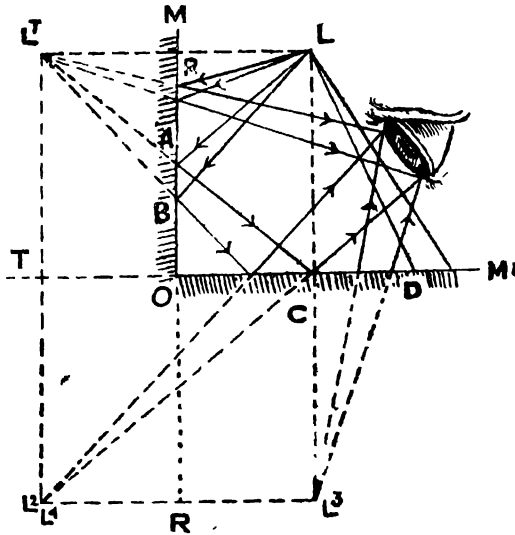
মনে কর O_1M অনুভূমিক সমতল দর্পণ এবং OM′ দর্পণ ও OM দর্পণের মধ্যে θ কোণ অবস্থিত। ∴ $\angle LO_2M = 45° = \angle O_1O_2O$, $\angle M'O_1L = \theta = \angle O_2'O_1O$ যেহেতু OL ও OM সমান্তরাল। ∴ O_1OO_2 ত্রিভুজে $2\theta + 45° = 180°$ ∴ $\theta = 67{\cdot}5°$.

(ঘ) দুই দর্পণে প্রতিফলন : নীতি : একটি রশ্মির বিভিন্ন দর্পণে পর পর প্রতিফলনে কোন একটি প্রতিফলনের দরুণ উৎপন্ন সদ্ বা অসদ্ প্রতিবিম্ব পরবর্তি প্রতিফলনে বস্তুর (object) কাজ করে যতক্ষণ একের প্রতিবিম্বটি অপর দর্পণের সম্মুখে গঠিত হয়। সব সময়ে দর্পণ হইতে বস্তু ও প্রতিবিম্বের দূরত্ব সমান হয় এবং বস্তু হইতে দর্পণের উপর অঙ্কিত অভিলম্বের উপর প্রতিবিম্ব অবস্থিত থাকে।

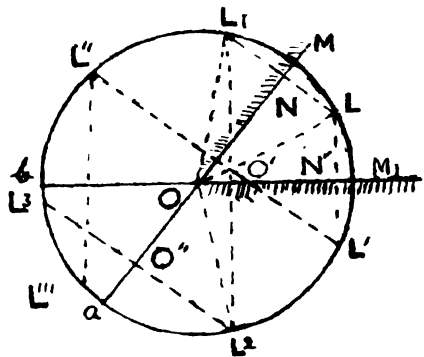
(১) দুই সমান্তরাল দর্পণে (Parallel Mirror) **প্রতিফলন :** মনে কর M ও M′ দুই সমান্তরাল দর্পণ মুখোমুখি অবস্থিত। উহাদের মধ্যে L একটি বস্তু বা দীপক-বিন্দু। Lএর মধ্য দিয়া দুই দর্পণের উপর অভিলম্ব ALB রেখা টান এবং ইহাকে দুই দিকে বর্ধিত কর। দুই দর্পণের দরুণ সমস্ত প্রতিবিম্বগুলি বর্ধিত ALB রেখার উপর থাকিবে। মনে কর

৩৩নং চিত্র

প্রথমে M দর্পণের জন্য Lএর প্রতিবিম্ব L^1 হয়। ∴ $LA = AL^1$। M′ দর্পণের জন্য প্রতিবিম্ব L^1 বস্তুর (object) কাজ করে এবং M′ দর্পণে প্রতিফলনের জন্য L^1এর প্রতিবিম্ব L^2 হয়। ∴ $L^2B = L^1B$. । L^2কে বস্তু ধরিলে M দর্পণে প্রতিফলনের জন্য L^3 প্রতিবিম্ব হয়। ∴ $L^3A = L^2A$.

এইরূপে M′ দর্পণে প্রথম প্রতিফলন ধরিলে L′, L″, L‴ প্রতিবিম্ব হইবে। এইরূপে প্রত্যেক দর্পণের পশ্চাতে অনেকগুলি প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। নীতি হিসাবে (Theoretically) প্রতিবিম্বের সংখ্যা অসংখ্য হওয়া উচিৎ কিন্তু প্রত্যেক প্রতিফলনে অনেকটা আলোক শোষিত ও বিক্ষিপ্ত (diffused) হয় সেইজন্য আলোকের মাত্রা ক্রমশঃ কমিতে থাকে এবং কয়েক বার প্রতিফলনের পর প্রতিবিম্ব আর দেখা যায় না।

(২) **সমকোণে আনত দর্পণে** (Mirror inclined at right-angles) **প্রতিফলন**ঃ মনে কর OM ও OM¹ দুইটি দর্পণের মসৃণতল সমকোণে অবস্থিত এবং দুইটি দর্পণের সম্মুখে L একটি দীপক-বিন্দু অবস্থিত আছে। OMএর উপর LRL^1 অভিলম্ব টান যাহাতে $RL = RL^1$, ∴ OM দর্পণের জন্য L বিন্দুর L^1 প্রতিবিম্ব হয়। M^1Oকে T পর্যন্ত বর্ধিত কর এবং L^1TL^2 অভিলম্ব টান যাহাতে $L^1T = TL^2$, ∴ OM^1 দর্পণের জন্য L^1এর

৩৪নং চিত্র

প্রতিবিম্ব L^2 হয় আবার OM^1 দর্পণের জন্য Lএর প্রতিবিম্ব L^3 হয়। ∴ $LC = CL^3$। OM দর্পণের জন্য L^3র প্রতিবিম্ব হয় L^4 ∴ $L^3R' = R'L^4$ কিন্তু L^2 ও L^4 ঠিক একস্থানে পড়ে বলিয়া উহারা মিশিয়া এক প্রতিবিম্ব হয়। এই যুক্ত প্রতিবিম্ব দুই দর্পণের পশ্চাতে পড়ে সুতরাং এই প্রতিবিম্ব হইতে কোন দর্পণে রশ্মি প্রতিফলিত হয় না এবং ইহার আর কোন প্রতিবিম্ব হয় না। সুতরাং সমকোণে অবস্থিত দুই দর্পণ হইতে মোট **তিনটি** প্রতিবিম্ব উৎপন্ন হয়।

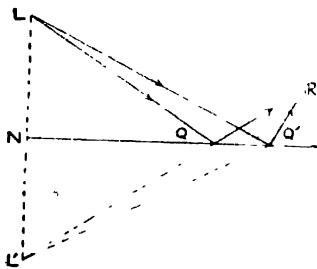
(৩) **যে কোন কোণে অবস্থিত দর্পণ** (Mirrors inclined at any angle): **প্রতিবিম্বের গঠন**—মনে কর OM ও OM_1 দুইটি দর্পণ মুখোমুখি MOM_1 কোণে অবস্থিত। O হইল দুই দর্পণের স্পর্শ-বিন্দু (point of contact)। উহাদের মধ্যে L একটি দীপক (যে কোন আলোকিত দ্রব্যই দীপক হইতে পারে) অবস্থিত। OMর উপর LN অভিলম্ব টান এবং L_1 পর্যন্ত বর্ধিত কর যাহাতে $LN = NL_1$ ∴ OM দর্পণে Lএর প্রতিবিম্ব হইল L_1। যেহেতু L_1 প্রতিবিম্ব OM_1 দর্পণের সম্মুখে থাকে সেইজন্য L_1 প্রতিবিম্বের জন্য OM_1 দর্পণে L^2 প্রতিবিম্ব হয় ∴ $L_1O' = O'L^2$.

৩৫নং চিত্র

আবার L_2 প্রতিবিম্ব OM দর্পণেব সম্মুখে থাকে সেইজন্য L_2 প্রতিবিম্বের জন্য OM দর্পণে L_3 প্রতিবিম্ব হয় যাহাতে $L_2O'' = O''L_3$। এইরূপে $L_1, L_2, L_3 \cdots$ প্রতিবিম্ব গঠিত হইতে থাকে যতক্ষণ না দুই দর্পণের পশ্চাতে boa কোণের মধ্যে একটি প্রতিবিম্ব হয়। কোন দর্পণেই এই প্রতিবিম্ব হইতে রশ্মির প্রতিফলন হইবে না।

এইরূপে OM_1 দর্পণে রশ্মি প্রথমে প্রতিফলিত হইয়া পর পর $L', L'', L''' \cdots$ প্রতিবিম্ব গঠিত হইতে থাকে যতক্ষণ না boa কোণের মধ্যে শেষ প্রতিবিম্ব গঠিত হয়।

প্রতিবিম্বগুলির অবস্থান: L'ON ও LON ত্রিভুজ সর্বতোভাবে সমান ∴ $OL' = OL$। এইরূপে জ্যামিতি হইতে প্রমাণ করা যায় যে $OL = OL' = OL_2 = OL'' = OL_3$। ∴ দুই দর্পণের স্পর্শ-বিন্দু Oকে কেন্দ্র করিয়া ও O হইতে দীপকের দূরত্ব OLকে ব্যাস লইয়া যে বৃত্ত অঙ্কিত করা যায় প্রতিবিম্বগুলি সেই বৃত্তের পরিধির উপর অবস্থিত হয়।

প্রতিবিম্বের সংখ্যা—যদি দুই দর্পণের মধ্যের কোণ θ হয় তবে ইহা প্রমাণ করা যায় যে প্রতিবিম্বের সংখ্যা $n=\left(\frac{2\pi}{\theta}-1\right)$...(৯)। যখন $\theta=৯০°$ তখন $n=৩$।

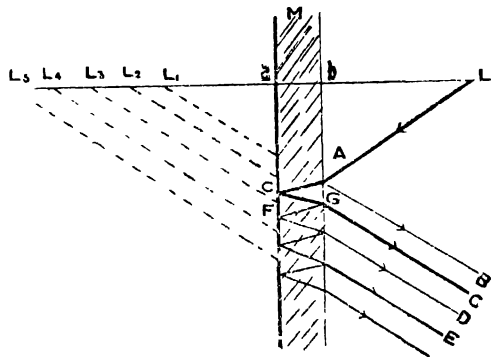
(ঙ) **সর্বনিম্ন সময়ের বা সর্ব ক্ষুদ্র পথের নীতি** (Principle of least time or path—Fermat's Principle): মনে কর কোন সমতলে LQ আপতন রশ্মি, QR প্রতিফলিত রশ্মি। যদি ঐ প্রতিফলন তলে Q′ অন্য কোন বিন্দু হয় তবে প্রমাণ কর $LQ+QR < LQ'+Q'R$ (C. U. 1913)

৩৬নং চিত্র

L হইতে দর্পণের উপর LN লম্ব টান। LN ও RQকে বর্ধিত কর। ইহারা L′তে পরস্পর ছেদ করে। QL′ যোগ কর, L-এর প্রতিবিম্ব L′ হয়।

$\therefore LN = NL'$। LNQ ও L′NQ ত্রিভুজের $LQ=L'Q$। এইরূপে $LQ'=L'Q'$

আমরা জানি $L'Q'+Q'R > L'R > L'Q + QR$

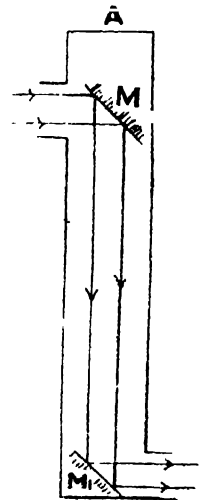
$$\therefore\ LQ'+Q'R > LQ+QR$$

(চ) **পুরু কাচ দর্পণে প্রতিফলন**: (Reflection by a thick glass-mirror): মনে কর M একটি পুরু দর্পণ। ইহার a তল মশলার প্রলেপ দেওয়া (silvered) এবং b তল মসৃণ। ইহার সম্মুখে একটি দীপক L রাখ। E-তে চোখ রাখিয়া দেখিলে দর্পণের পশ্চাতে

৩৭নং চিত্র

$L_1, L_2, L_3, L_4,$......প্রভৃতি অনেকগুলি প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। মনে কর LA রশ্মি দর্পণে b তলের A বিন্দুতে আপতিত হয়।

এখন LA রশ্মির অল্প অংশ AB অভিমুখে প্রতিফলিত হয় এবং সেইজন্য b তলে প্রতিফলনের জন্য L_1 প্রতিবিম্ব ক্ষীণপ্রভ (faint) হয়। b তল মসৃণ কাচ সেইজন্য LA রশ্মির বেশী অংশ দর্পণের ভিতর প্রবেশ করিয়া চক্‌চকে a তলে C বিন্দু হইতে CG বরাবর প্রতিফলিত হয়। আবার এই রশ্মির বেশী অংশ b তলের G বিন্দু হইতে GC রেখা বরাবর প্রতিফলিত হয় এবং এই প্রতিফলনের জন্য L_2 দ্বিতীয় প্রতিবিম্ব দেখা যায়। সুতরাং L_2 প্রতিবিম্ব উজ্জলতম প্রতিবিম্ব হয়। CG রশ্মির অল্প অংশ দর্পণের a তলে F বিন্দুতে প্রতিফলিত হয। এইরূপ পর পর প্রতিফলনে L_3, L_4······প্রভৃতি ক্রমশঃ ক্ষীণতর প্রতিবিম্ব উৎপন্ন হয়। b তলে আপতন কোণ যত কমিবে L_2 তত উজ্জ্বল হইবে। আপতন কোণ যত বাড়িবে b তল হইতে তত বেশী আলো প্রতিফলিত হইবে। অত্যন্ত বাঁকা রশ্মি পতিত হইলে প্রথম প্রতিবিম্ব L_1 খুব উজ্জ্বল হয়।

৩৮নং চিত্র

৩৫। **সরল পেরিস্কোপ** (Simple Periscope)ঃ এই যন্ত্রে দুইটি সমান্তরাল দর্পণে পরপর দুইটি প্রতিফলনের নীতির সুযোগ লওয়া হইয়াছে। একটি A নলে M ও M_1 দুইটি দর্পণ পরপর সমান্তরালে অবস্থিত। কিন্তু ইহাদিগকে এইরূপ পরস্পর সমান্তরালে রাখিয়া যে কোন কোণে বাঁকান যায়। উপরের M দর্পণ খুব দূরের কোন দ্রব্যের দিকে মুখ করিয়া থাকে, নীচের দর্পণ দর্শকের দিকে মুখ করিয়া থাকে। দূরের কোন দ্রব্য হইতে আলোক-রশ্মি M দর্পণে পড়িয়া নলের অক্ষ বরাবর প্রতিফলিত হইয়া M_1 দর্পণে পড়িয়া পুনরায় অনুভূমিকভাবে প্রতিফলিত হইয়া বিপরীত দিকে দর্শকের চোখে যায়। দর্শক খালি চোখে দূরের দ্রব্য দেখিতে না পাইলেও এই যন্ত্রের সাহায্যে তাহা দেখিতে পায়। যুদ্ধের সময় পরিখার মধ্যে লুকাইয়া থাকিয়া সৈন্যগণ পেরিস্কোপ সাহায্যে দূরের

শত্রুর গতি লক্ষ্য করে। এই যন্ত্রের M দর্পণকে কোন বাধার উপরে তুলিলে বাধার অপর দিকের পদার্থ দেখা যায়। পেরিস্কোপ সাহায্যে দূর হইতে ফুটবল খেলা দেখা যায়।

৩৬। **গোলক ধাঁধাঁ (Kaleidoscope):** এই খেলনায় একটি গোল নলে দুইটি লম্বা সরু দর্পণ পরস্পর ৬০° কোণে অবস্থিত হয়। নলের এক প্রান্তে একটি কাচের চাক্তি অপর প্রান্তে একটি কার্ডবোর্ডের চাক্তি থাকে। শেষোক্ত চাক্তির একটি ছিদ্র দিয়া দর্শক ভিতরের জিনিষ দেখে। কাচের চাক্তির পশ্চাতে একটি ঘসা কাচের চাক্তি থাকে। এই দুই কাচের চাক্তির মধ্যে কতকগুলি রংঙিন কাচেব টুক্‌রা থাকে। দর্পণ দুইটি ৬০° কোণে অবস্থিত হয় বলিয়া প্রত্যেক কাচের টুক্‌রার পাঁচটি $\left(\frac{2\pi}{\theta}-1\right)$ করিয়া প্রতিবিম্ব হয় সুতরাং নলটি ঘুরাইলে বিভিন্ন রংঙিন কাচের টুক্‌রা বিভিন্ন অবস্থানে আসে এবং দর্শক রংঙিন টুক্‌রার নানা সমাবেশ দেখিতে পায়।

৩৭। **অনিয়মিত বা বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন:** অন্ধকার ঘরে সমতল দর্পণে আলোক-রশ্মি পড়িলে উহা একটি নির্দিষ্ট পথে প্রতিফলিত হয়। কোন দর্শক প্রতিফলিত রশ্মি বরাবর দর্পণের দিকে তাকাইলে দীপকের প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে। রশ্মির বাহিরে তাকাইলে দর্পণ বা প্রতিবিম্ব কোনটাই দেখিতে পাইবে না। দর্পণের পরিবর্তে সাদা কাগজ রাখিলে আলোক রশ্মি কোন নির্দিষ্ট পথে প্রতিফলিত না হইয়া চারিদিকে বিক্ষিপ্ত হয়। দীপকের কোন প্রতিবিম্ব উৎপন্ন হয় না। কাগজকে চারিদিক হইতে দেখা যায় এবং ঘরটাও একটু আলোকিত হয়। অতএব আমরা বলিতে পারি যে অপ্রভ পদার্থ এই বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন দ্বারা দৃষ্টি গোচর হয়। তরলে বা গ্যাসে ভাসমান পদার্থের কণা হইতে আলোক এইরূপ বিক্ষিপ্ত হয়। বায়ুতে ভাসমান ধূলিকণা সূর্যালোক বিক্ষিপ্ত করে বলিয়া আমরা সূর্যরশ্মি দেখিতে পাই। বিক্ষিপ্ত আলোকের পরিমাণ তলের বর্ণ ও প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। সাদা বর্ণ বেশী আলোক বিক্ষিপ্ত করে।

৩৮। গোধূলি (Twilight): সূর্যাস্তের পর কিংবা সূর্যোদয়ের পূর্বে সূর্যালোক বায়ুতে ভাসমান ধূলিকণা, জলকণা ও অন্যান্য দ্রব্যের কণা হইতে বিক্ষিপ্ত হইয়া পশ্চিমাকাশ বা পূর্বাকাশ আলোকিত করে।

প্রশ্ন

1. State the laws of reflection of light. How would you verify them experimentally ? (C. U. 1913, '15, '19, '25).

2. What is meant by the image of an object ? Distinguish between real and virtual image. (C. U. 1922, '23, '38). How would you experimentally find the position of a virtual image ? (P. U. 1919, '40 ; C. U. 1936).

3. Draw a figure showing how an image is formed by a plane mirror and prove that the object and its image are equally distant from the mirror. (C. U. 1923, '27, '28).

4. Prove that when a plane mirror is rotated through any angle, the reflected ray is rotated through twice the angle. (C. U. 1927, '41, '46, D. U. 1928, '34)

5. Explain with the help of diagrams the formation of multiple images by two mirrors (*a*) when they are parallel, (*b*) when they are inclined to each other at 90°. (C. U. 1919, '39, '47)

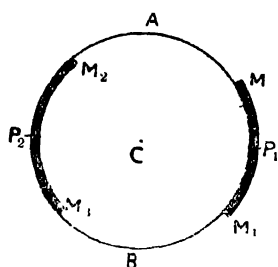
6. A man running towards a plane mirror at the rate of 5 ft per sec. approaches his image at the rate of 10 ft. per second. Explain. (C. U. 1943).

7. Explain why a sheet of ground glass becomes almost transparent when wet. (C. U. 1942)

(উঃ—ঘসা কাচের তল অমসৃণ হয়। উহার উপর আলো পড়িলে আলোক রশ্মি অনিয়মিতভাবে চারিদিকে প্রতিফলিত হয় সেইজন্য কাচকে অস্বচ্ছ দেখায় কিন্তু ঘসা কাচকে জলে ভিজাইলে কাচের দুই তলের উপর জলের সূক্ষ্ম স্তর পড়ে। কাজেই দুইটি অমসৃণ তল মসৃণ হয় সুতরাং আপতিত আলোক রশ্মি একটি নির্দিষ্ট পথে প্রতিফলিত হয় এবং কাচকে স্বচ্ছ দেখায়।)

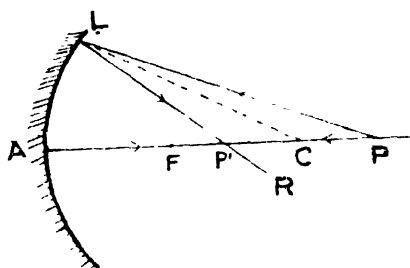
গোলীয় তলে প্রতিফলন

(Reflection at a spherical surface)

৩৯। **সংজ্ঞা ঃ গোলীয় দর্পণ ঃ** কোন ফাঁপা গোলক ABর বাহির তলের কোন অংশ (MM_1) বা ভিতর তলের কোন অংশ (M_2M_3) মসৃণ ও চকচকে থাকিলে তলের সেই মসৃণ অংশকে **গোলীয় দর্পণ** (Spherical Mirror) বলে। এই দর্পণ দুই প্রকারের হয়, যথা :—

৩৯নং চিত্র

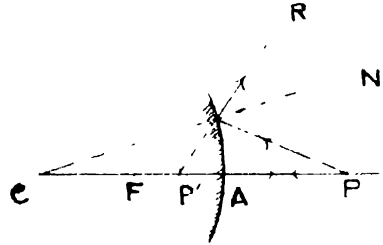
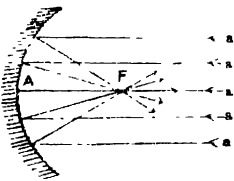
(ক) **অবতল** (Concave) **দর্পণ ঃ** যদি দর্পণের ভিতরের খোদলের (hollow) দিকে চকচকে হয় এবং সেই দিকে আলোর প্রতিফলন হয় তবে দর্পণকে **অবতল** দর্পণ বলে।

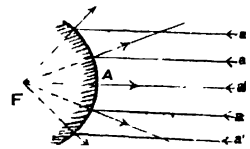
(খ) **উত্তল** (Convex) **দর্পণ ঃ** যদি দর্পণের বাহিরের উচু দিক চক্‌চকে হয় এবং সেই দিকে প্রতিফলন হয় তবে দর্পণকে **উত্তল** দর্পণ বলে। AB ফাঁপা গোলকের M_2M_3 অংশ ভিতরের দিক চক্‌চকে বলিয়া ইহা **অবতল** দর্পণ এবং MM_1 অংশ বাহিরের দিকে চক্‌চকে বলিয়া ইহা উত্তল দর্পণ। দুই দর্পণের কিনারা বৃত্তাকার হয়। (৩৯নং চিত্র)

প্রতিফলন তলের মধ্য-বিন্দুকে (middle point) দর্পণের **মধ্যবিন্দু** (Pole, A) বলে (৪০ চিত্র)। মধ্যবিন্দু A হইতে বৃত্তাকার কিনারার প্রত্যেক বিন্দুর দূরত্ব সমান হয়। দর্পণ যে গোলকের অংশ সেই গোলকের কেন্দ্রকে দর্পণের **বক্রতা-কেন্দ্র** (Centre of Curvature, C) বা সংক্ষেপে দর্পণের কেন্দ্র

৪০নং চিত্র

বলে এবং সেই গোলকের ব্যাসার্ধকে দর্পণের **বক্রতা-ব্যাসার্ধ** (Radius of Curvature, CL বা CA) বলে। বক্রতা-কেন্দ্র ও মধ্যবিন্দু সংযোগকারী রেখাকে **প্রধান** বা **মুখ্য অক্ষ** (Principal Axis, CA) বলে। মনে রাখিবে দর্পণের মধ্য-বিন্দু ও কেন্দ্র দুইটি বিভিন্ন বিন্দু। অবতল দর্পণের মধ্যবিন্দু দর্শক হইতে দর্পণের দূরতম অংশ, উত্তল দর্পণের মধ্যবিন্দু নিকটতম অংশ। দর্পণের কেন্দ্রের মধ্য দিয়া অঙ্কিত যে কোন ব্যাসকে **গৌণ অক্ষ** (Secondary Axis) বলে। মুখ্য অক্ষ বা যে কোন অক্ষকে বর্ধিত করিলে ইহা প্রতিফলন তলে

৪১নং চিত্র

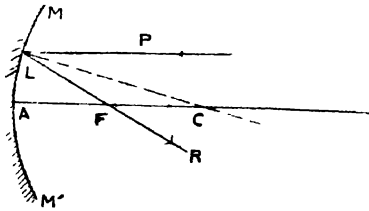
অভিলম্বভাবে পতিত হয়। প্রতিফলন তলের দুই সীমান্ত বিন্দু (৪৪নং চিত্রে) M ও M′ হইতে কেন্দ্রে অঙ্কিত দুই ব্যাসার্ধ দ্বারা সীমাবদ্ধ কোণকে দর্পণের **উন্মেষ** (Aperture, $\angle MCM'$) বলে।

মুখ্য ফোকস (Principal Focus) : মুখ্য অক্ষের সমান্তরালে কতকগুলি সূক্ষ্ম রশ্মিগুচ্ছ কোন দর্পণের মধ্যবিন্দুর **নিকটে** আপতিত হইলে প্রতিফলনের পর প্রতিফলিত রশ্মি সবদাই মুখ্য অক্ষের উপর অবস্থিত একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে প্রকৃতই কেন্দ্রীভূত হয় কিংবা একটি নির্দিষ্ট বিন্দু হইতে আসে বলিয়া মনে হয়।

৪২নং চিত্র

মনে কর $a-a$ একটি সূক্ষ্ম রশ্মি গুচ্ছ। রশ্মিগুলি পরস্পর সমান্তরাল এবং প্রধান অক্ষ Aaর সহিত সমান্তরাল। ৪২নং চিত্রে অবতল দর্পণে ইহারা দর্পণের সামনে F বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হয় এবং ৪৩নং চিত্রে উত্তল দর্পণে ইহারা দর্পণের পশ্চাতে F বিন্দু হইতে আসে বলিয়া মনে হয়। F বিন্দুকে **মুখ্য ফোকস** বা শুধু

৪৩নং চিত্র

ফোকস বলে। অবতল দর্পণের ফোক্স সদ্ (real) এবং উত্তল দর্পণের ফোক্স অসদ্ (virtual) হয়। দর্পণের মধ্যবিন্দু A হইতে ফোক্সের দূরত্বকে **ফোক্স দূরত্ব** (Focal Length) বলে। AF ফোক্স দূরত্ব।

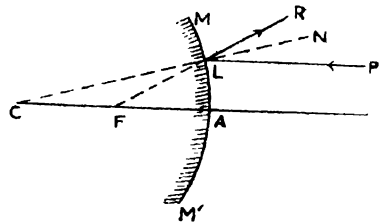
প্রধান অক্ষের সহিত সমকোণ করিয়া প্রধান ফোক্সের ভিতর দিয়া যে তল অঙ্কন করা যায় তাহাকে **ফোক্স-তল** (Focal Plane) বলে। প্রধান অক্ষের মধ্য দিয়া কাগজের সমতলে কোন তল টানিলে দর্পণের যে অংশ বিচ্ছিন্ন হয় তাহাকে দর্পণের **প্রধান ছেদ** (section) বলে।

দ্রষ্টব্য: নিম্নলিখিত অধিকাংশ পরীক্ষায় আমাদের ধরিয়া লইতে হইবে যে **দীপক প্রধান অক্ষ হইতে বেশী দূরে অবস্থিত নহে** এবং দীপক হইতে রশ্মিগুচ্ছ দর্পণের মধ্যবিন্দু Aর নিকট পড়ে। ইহাতে রশ্মিগুচ্ছের **অক্ষ** প্রধান অক্ষের সহিত সামান্য কোণে বাঁকিয়া থাকে এবং রশ্মিগুচ্ছের আপতনকে কার্যতঃ অভিলম্ব ধরা হয়।

৪০। **ফোক্স দূরত্ব (f) ও বক্রতা-ব্যাসার্ধের (r) সম্পর্ক:** ৪৪নং ও ৪৫নং চিত্রে MM′ কাগজের সমতলে দর্পণের প্রধান ছেদ, A দর্পণের মধ্য-বিন্দু, C দর্পণের কেন্দ্র। সুতরাং AC প্রধান অক্ষ। আমরা জানি বক্রতা-ব্যাসার্ধ দর্পণের যে বিন্দুতে পতিত

৪৪নং চিত্র

হয় সেই বিন্দুতে উহা অভিলম্ব (normal) হয়। কারণ বৃত্তের যে কোন ব্যাসার্ধ পরিধির উপর অভিলম্ব হয়। দুই চিত্রে CL বক্রতা-ব্যাসার্ধ L বিন্দুতে দর্পণের উপর অভিলম্ব হয়।

৪৫নং চিত্র

মনে কর দুই চিত্রে দর্পণের L বিন্দুতে PL একটি আপতন রশ্মি এবং ইহা প্রধান অক্ষ ACর সহিত সমান্তরাল। মনে কর LR ইহার আনুসঙ্গিক প্রতিফলিত রশ্মি এবং এই রশ্মি

প্রধান অক্ষকে F বিন্দুতে ছেদ করে (৪৫নং চিত্রে LR পিছন দিকে বাড়াইলে)। সংগানুসারে F বিন্দু দর্পণের প্রধান ফোকস। মনে কর AF = ফোকস দূরত্ব = f এবং বক্রতা-ব্যাসার্ধ = r.

প্রমাণঃ LP ও AC সমান্তরাল এবং ৪৪ চিত্রে CL ও ৪৫ চিত্রে CLN ইহাদিগকে **স্পর্শ** করে।

∴ ৪৫ চিত্রে ∠PLN = ∠LCF, ৪৪ চিত্রে ∠PLC = ∠LCA কিন্তু L বিন্দুতে আপতন কোণ ∠PLC (৪৪ চিত্র) ও ∠PLN (৪৫ চিত্র) = প্রতিফলন কোণ ∠CLR ও ∠RLN (প্রতিফলনের দ্বিতীয় নিয়ম)

∴ ৪৫ চিত্রে ∠RLN = ∠CLF (বিপরীত কোণ বলিয়া) ∴ ∠FCL = ∠CLF ∴ ৪৪ চিত্রে ∠FCL = ∠FLC

∴ CLF ত্রিভুজে ∠FCL = ∠CLF

∴ FL = FC

আমরা পূর্বেই ধরিয়াছি L মধ্যবিন্দু Aর অতি নিকটে অবস্থিত ∴ FL = AF মোটামুটি ∴ AF = FC = ½AC ∴ $\mathbf{f = \frac{r}{2}}$ ....(১০)

PL একটি রশ্মি ∴ যদি রশ্মিগুচ্ছ খুব ক্ষুদ্র হয় তবে সমস্ত রশ্মিগুলি প্রতিফলনের পর প্রধান ফোকসের মধ্য দিয়া অতিক্রম করে।

∴ ফোকস দূরত্ব = বক্রতার ব্যাসার্ধের অর্ধেক।

প্রধান ফোকস হইতে কোন রশ্মিগুচ্ছ বহির্গত হইলে তাহারা প্রতিফলনের পর প্রধান অক্ষের সহিত সমান্তরাল হয়।

৪১। **দূরত্ব মাপা ও চিহ্নের নিয়ম** (Rules of signs) **:**

(ক) আপতিত রশ্মির বিপরীত দিকের অর্থাৎ দর্পণ হইতে দীপকের দিকের দূরত্ব **ধনাত্মক** (positive) হয়। (খ) আপতিত রশ্মির দিকের অর্থাৎ দীপক হইতে দর্পণের দিকের দূরত্ব **ঋণাত্মক** (negative) হয়। (গ) সমস্ত দূরত্ব দর্পণের মধ্য-বিন্দু হইতে মাপা হয়। চিত্র হইতে দেখা যায় যে অবতল দর্পণে f ও r দু'য়ের মাপ ধনাত্মক। উত্তল দর্পণে ইহাদের মাপ ঋণাত্মক হয়। এই চিহ্ন আর একটি উপায়ে মনে রাখা যায়—মধ্য-বিন্দু হইতে ডান দিকের দূরত্ব ধনাত্মক, বামদিকের দূরত্ব ঋণাত্মক।

৪২। প্রতিবিম্বের অবস্থান ও গোলীয় দর্পণের সূত্র (Formula) :

(ক) **অবতল দর্পণঃ প্রতিবিম্বের অবস্থান** : মনে কর ৪০ চিত্রে কাগজের সমতলে AL অবতল দর্পণের প্রধান ছেদ, A মধ্যবিন্দু, C কেন্দ্র, AC প্রধান অক্ষ, প্রধান অক্ষের উপর P একটি দীপক। প্রধান অক্ষ দর্পণতলে অভিলম্ব (normal). ∴ PA রশ্মি অক্ষ ববাবর আপতিত হইয়া একই পথে AP বরাবর প্রতিফলিত হয়।

আবার PL রশ্মি মধ্যবিন্দু Aর খুব নিকটস্থ L বিন্দুতে আপতিত হইয়া LR ববাবর প্রতিফলিত হয়। ∴ আপতন কোণ PLC = প্রতিফলন কোণ CLR কারণ CL ব্যসার্ধ L বিন্দুতে অভিলম্ব। দুইটি প্রতিফলিত রশ্মি AP ও LRর ছেদ-বিন্দু P′ দীপক Lর প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয় করে। এই প্রতিবিম্ব **সদ** এবং প্রধান অক্ষেব উপর অবস্থিত।

সূত্র :—P′LP ত্রিভুজের P′LP শিবঃ (vertical) কোণ LC দ্বারা দ্বিখণ্ডিত হয়।

$\therefore \ \frac{P'L}{LP} = \frac{P'C}{CP}$। AL খুব ক্ষুদ্র ধবিলে অর্থাৎ Lকে Aর খুব নিকটে ধবিলে P′Lকে P′Aব সমান এবং PLকে PAব সমান ধরা যাইতে পারে।

$$\therefore \ \frac{P'A}{PA} = \frac{P'C}{CP} = \frac{CA - P'A}{PA - CA}$$

মনে কর PA = u, P′A = v, CA = r। এই দবত্বগুলি সবই ধনাত্মক। কাবণ এই দরত্বগুলি মধ্যবিন্দু P হইতে আপতিত রশ্মিব বিপরীত দিকে মাপা লয়।

$\frac{v}{u} = \frac{r-v}{u-r}$ বা $v(u-r) = u(r-v)$ বা $ur + vr = 2uv$. দুই দিকে uvr দিয়া ভাগ কবিলে

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{2}{r} = \frac{1}{f} \cdots (১১) \text{ কাবণ } f = \frac{r}{2}.$$

(খ) **উত্তল দর্পণঃ প্রতিবিম্বের অবস্থান** : মনে কর ৪১ চিত্রে AL দর্পণের প্রধান ছেদ A মধ্যবিন্দু, C কেন্দ্র, P প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত দীপক।

AP প্রধান অক্ষ দর্পণতলে অভিলম্ব। PA রশ্মি অক্ষ বরাবর আপতিত হইয়া AP বরাবর প্রতিফলিত লয়। আবার PL রশ্মি মধ্যবিন্দু Aর নিকটস্থ L বিন্দুতে PL বরাবর আপতিত হইয়া LR বরাবর প্রতিফলিত হয়। আপতন কোণ PLN = প্রতিফলিত কোণ NLR কারণ ব্যাসার্ধ CLএর বর্ধিত অংশ NL L বিন্দুতে অভিলম্ব। দুইটি প্রতিফলিত রশ্মি PA ও LR প্রকৃতই পরস্পর ছেদ করে না কিন্তু পশ্চাৎদিকে বর্দিত করিলে P′ বিন্দুতে ছেদ করে এবং মনে হয P′ বিন্দু হইতে ইহারা আসে। ∴ P′ বিন্দু P দীপকের অসদ্ প্রতিবিম্ব এবং প্রধান অক্ষের উপরে অবস্থিত।

সূত্র ঃ P′LP ত্রিভুজের PLR বহিঃস্থ শিবঃকোণ (external vertical) NLC রেখা দ্বারা দ্বিখণ্ডিত হয়।

$$\therefore \frac{P'L}{LP} = \frac{P'C}{PC}$$ । LAকে ক্ষুদ্র ধরিলে P′L = P′A এবং PL = AP ধরা যাইতে পারে।

$$\therefore \frac{P'A}{PA} = \frac{P'C}{PC} = \frac{AC - P'A}{AC + AP}$$

উপযুক্ত চিহ্ন দিয়া এবং PAকে u, AP′কে v, CAকে r ধরিলে

$$\frac{-v}{u} = \frac{-r-(-v)}{u+(-r)} = \frac{-r+v}{u-r}$$

$$\frac{v}{u} = \frac{r-v}{u-r}$$ (দুই দিকে −১ দিয়া গুণ দিয়া) or $ur + vr = 2uv$.

uvr দিয়া দুই দিক ভাগ দিয়া

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{2}{r} = \frac{1}{f} \quad \cdots (১৩)$$

৪৩। **অনবদ্ধ ফোকস** (Conjugate Focii) : যদি প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত দুই বিন্দুর যে কোন একটিতে দীপক রাখিলে অপর বিন্দুতে প্রতিবিম্ব উৎপন্ন হয় তবে বিন্দু দুইটিকে **অনবদ্ধ ফোকস** বলে। ৪০নং ও ৪১নং চিত্রে PL আপতিত রশ্মি এবং LR প্রতিফলিত রশ্মি। এখন যদি RAকে

আপতিত রশ্মি ধরা যায় তবে PL প্রতিফলিত রশ্মি হইবে। কারণ আলোক রশ্মির পথ প্রত্যাবর্তনশীল। অতএব প্রতিবিম্ব ও দীপকের অবস্থান পরস্পর বিনিময় যোগ্য (interchangeable)। ৪০নং চিত্রে P′ বিন্দুতে যদি দীপক রাখা হয় তবে P বিন্দুতে প্রতিবিম্ব পাওয়া যাইবে।

৪৪। **বিন্দুর প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয়ঃ** সাধারণত যে কোন বিন্দুর প্রতিবিম্ব নিম্নলিখিত সুবিধাজনক উপায়ে **তিনটি রশ্মির দ্বারা** বাহির করা হয়।

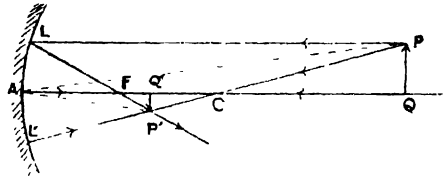
(ক) P বিন্দু হইতে দর্পণের AQ অক্ষের সমান্তরালে একটি রশ্মি PL দর্পণের উপর L বিন্দুতে টান। এই রশ্মি প্রতিফলনের পর অবতল দর্পণে ফোকস Fএর মধ্য দিয়া LP′ পথে যাইবে এবং উত্তল দর্পণে ফোকস হইতে P′L পথে আসে বলিয়া মনে হইবে (৪৬নং ও ৫১নং চিত্র)।

(খ) P বিন্দু হইতে আর একটি রশ্মি PC দর্পণের কেন্দ্র Cর মধ্য দিয়া দর্পণে L′ বিন্দুতে আপতিত হইলে উহা এই L′P পথেই প্রতিফলিত হয়। কারণ CL′ ব্যাসার্ধ দর্পণের উপর অভিলম্ব।

(গ) মুখ্য ফোকসের মধ্য দিয়া কোন রশ্মি দর্পণে আপতিত হইলে উহা প্রধান অক্ষের সমান্তরালে প্রতিফলিত হয়।

উপরোক্ত তিনটি রশ্মির মধ্যে যে কোন দুইটি রশ্মির ছেদ-বিন্দু দীপক বিন্দুর প্রতিবিম্ব হইবে। যদি রশ্মিগুচ্ছ খুব প্রশস্ত না হয় তবে অন্য সকল প্রতিফলিত রশ্মি এই প্রতিবিম্ব দিয়া অতিক্রম করিবে। যদি রশ্মিগুচ্ছ খুব প্রশস্ত হয় তবে বিন্দুর প্রতিবিম্ব হইবে না। (ঘ) প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত যে কোন বিন্দুর প্রতিবিম্ব প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত হইবে।

৪৫। **বস্তুর প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয়ঃ** কোন বস্তুকে কতকগুলি বিন্দুর সমষ্টি ধরা যাইতে পারে। প্রত্যেক বিন্দুর আনুসঙ্গিক প্রতিবিম্ব বাহির করিলে সমস্ত বস্তুর প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়। Cকে কেন্দ্র করিয়া LL′ (৪৬নং চিত্র) ও AL′ (৫১নং চিত্র) বৃত্তাংশ টান। মনে কর AL′ কোন দর্পণের প্রধান ছেদ। AL দর্পণের A – মধ্যবিন্দু, C – কেন্দ্র, AC – প্রধান অক্ষ, F – মুখ্য ফোকস। PQ অক্ষের উপর লম্বভাবে অবস্থিত বস্তু। অক্ষের সহিত সমান্তরালে বস্তুর শীর্ষ বিন্দু

P হইতে PL রশ্মি টান। এই রশ্মি প্রতিফলনের পর ফোকস Fএর মধ্য দিয়া LF পথে কিংবা FLএর বর্ধিত পথে যাইবে। ৪৬নং চিত্রে LF প্রতিফলিত রশ্মি। P হইতে অপর রশ্মি PC কেন্দ্র Cএর মধ্য দিয়া টানিয়া L′ পর্যন্ত বর্ধিত কর (অবতল দর্পণে)। এই রশ্মি L′P পথে প্রতিফলিত হইবে। এই দুই রশ্মি P′তে ছেদ করে অতএব ৪৪ অনুচ্ছেদের নিয়মানুসারে P বিন্দুর প্রতিবিম্ব P′ পাওয়া যায়। Q বিন্দু প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত সুতরাং (ঘ) নিয়মানুসারে Qর প্রতিবিম্ব Q′ প্রধান অক্ষের উপর থাকে। সুতরাং PQর প্রতিবিম্ব P′Q′ পাওয়া যায়। বস্তুর অবস্থিতির (position) উপর প্রতিবিম্বের অবস্থিতি ও আকৃতি নির্ভর করে (৫১অনুচ্ছেদ)।

৪৬নং চিত্র

দ্রষ্টব্য: (ক) যদি **বস্তুটি** খুব বড় হয় এবং দর্পণ ছোট হয় তবে দর্পণের প্রস্থচ্ছেদ বড় করিয়া কাগজে আঁকিতে হয়। (খ) **সদ্** প্রতিবিম্ব সব ক্ষেত্রে **উল্টা** হয়। **অসদ্** প্রতিবিম্ব সব সময়েই **সোজা** হয়।

৪৬। **রৈখিক বিবর্ধন** (Linear Magnification): বস্তু ও প্রতিবিম্বের আকার সমতল দর্পণে সমান থাকে কিন্তু গোলীয় দর্পণে ইহাদের আকার সব সময়ে সমান হয় না। প্রতিবিম্বের রৈখিক মাত্রার (linear dimension, দৈর্ঘ্য প্রস্থ বা উচ্চতা) সহিত বস্তুর রৈখিক মাত্রার অনুপাতকে প্রতিবিম্বের **রৈখিক বিবর্ধন** কিংবা দর্পণের **বিবর্ধন ক্ষমতা** (Magnifying Power) বলে।

$$\text{সুতরাং বিবর্ধন } m = \frac{\text{প্রতিবিম্বের আকার}}{\text{বস্তুর আকার}} \quad \ldots(১৪)$$

৪৭। **বিবর্ধনের সূত্র** (Formula for magnification): গোলীয় দর্পণে প্রতিবিম্ব ও বস্তুর আপেক্ষিক আকার নিম্নলিখিত উপায়ে বাহির করা হয়:—

(ক) **অবতল দর্পণে সদ্ প্রতিবিম্বের বিবর্ধন**: ৮৬নং চিত্রে C কেন্দ্রের বাহিরে PQ বস্তু অবস্থিত। PA ও AP′ যোগ কর। PA আপতিত রশ্মির

AP′ হইল আনুসঙ্গিক প্রতিফলিত রশ্মি। CA হইল অভিলম্ব। ∴ প্রতিফলনের নিয়মানুসারে আপতন কোণ PAQ = প্রতিফলন কোণ Q′AP′, PQ ও P′Q′ পরস্পর সমান্তরাল এবং অক্ষের উপর লম্ব (perpendicular)।

∴ APQ ও AP′Q′ ত্রিভুজদ্বয় সমকৌণিক (equiangular).

$$\therefore \frac{P'Q'}{PQ} = \frac{Q'A}{QA} = \frac{v}{u} \quad \therefore m = \frac{P'Q'}{PQ} = \frac{v}{u}$$ । প্রতিবিম্ব P′Q′ হইল বস্তু PQর উল্টা। সোজা প্রতিবিম্বকে ধনাত্মক ধরিলে উল্টা প্রতিবিম্বকে ঋণাত্মক ধরিতে হয়।

$$\therefore \mathbf{m} = \frac{-P'Q'}{PQ} = -\frac{\mathbf{v}}{\mathbf{u}} \cdot (১৭)$$

(খ) **অসদ্ প্রতিবিম্বের বিবর্ধন** : ৫০নং চিত্রে ও ৫১ নং চিত্রে P′Q হইল PQর প্রতিবিম্ব। P′A যোগ কর। PA আপতিত রশ্মির AE আনুসঙ্গিক প্রতিফলিত রশ্মি এবং AC অভিলম্ব (চিত্রে P′A, PA আঁকা নাই) ∴ ∠PAQ = ∠QAE = ∠P′AQ′ ∴ PAQ ও P′AQ′ ত্রিভুজদ্বয় সমকৌণিক

$$\therefore m = \frac{P'Q'}{PQ} = \frac{Q'A}{QA} = \frac{v}{u}$$ । এখানে Q′A ঋণাত্মক $\therefore \mathbf{m} = -\frac{\mathbf{v}}{\mathbf{u}}$ ...(১৬)

কথায়, দর্পণের মধ্যবিন্দু হইতে প্রতিবিম্বের ও বস্তুর দূরত্বের অনুপাতকে বিবর্ধন বলে।

আবার $m = \frac{P'Q'}{PQ} = \frac{CQ'}{CQ}$ । কথায়, বক্রতা-কেন্দ্র হইতে প্রতিবিম্বের ও বস্তুর দূরত্বের অনুপাতকে বিবর্ধন বলে।

দ্রষ্টব্য : মনে রাখিবে যখন প্রতিবিম্ব সদ্ হয় তখন m ঋণাত্মক হয় এবং যখন অসদ্ হয় তখন m ধনাত্মক হয়।

৪৮। m, v, u ও f এর সম্পর্ক :

(১) আমরা জানি $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ ...(ক)। প্রত্যেককে v দিয়া গুণ করিলে

$$1+\frac{v}{u}=\frac{v}{f} \text{ or } \frac{v}{u}=\frac{v}{f}-1 \;\therefore\; m=-\frac{v}{u}=-\left(\frac{v}{f}-1\right)=-\frac{v-f}{f}\cdots(১৭)$$

এখানে v, f জানা থাকিলে m বাহির করা যায়।

(২) (ক) সমীকরণের প্রত্যেক রাশিকে u দিয়া গুণ করিয়া।

$$\frac{u}{v}+1=\frac{u}{f} \;\therefore\; m=-\frac{v}{u}=-\left(\frac{f}{u-f}\right)\cdots(১৮)$$

এখানে u, f জানা থাকিলে m বাহির করা যায়।

(৩) (ক) সমীকরণ হইতে $\frac{1}{v}-\frac{1}{r}=\frac{1}{r}-\frac{1}{u}$ or $\frac{r-v}{vr}=\frac{u-r}{ur}$

$$\frac{v}{u}=\frac{vr}{ur}=\frac{r-v}{u-r} \text{ or } m=-\left(\frac{r-v}{u-r}\right)\cdots(১৯)$$

৪৯। **সমতল দর্পণে বিবর্ধন :** গোলীয় দর্পণের ব্যাসার্ধ r-কে অসীম (infinite) ধরিলে সমতল দর্পণ হইবে।

(ক) সমীকরণ হইতে $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{2}{r}=\frac{2}{\infty}=0$ or $v=-u$

$$\therefore\; m=\frac{-v}{-u}=1$$

সুতরাং সমতল দর্পণে বস্তু ও প্রতিবিম্ব একই আকৃতির হয়।

৫০। **প্রতিবিম্বের বিবরণ :** প্রতিবিম্বের সম্পূর্ণ বিবরণ দিতে হইলে নিম্নলিখিত বিষয়গুলি থাকা দরকার: (ক) দর্পণের মধ্য-বিন্দু হইতে দূরত্ব। (খ) প্রতিবিম্ব সদ্ কি অসদ। (গ) প্রতিবিম্ব সোজা কি উল্টা। (ঘ) বিবর্ধন।

৫১। **চিত্র সাহায্যে প্রতিবিম্বের প্রকৃতি, আকৃতি ও অবস্থান নির্ণয় :** (Graphical Determination of Images)

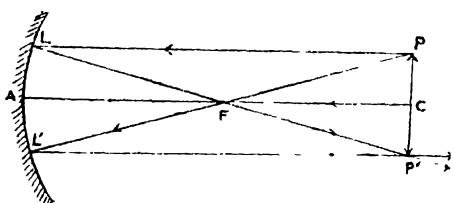
প্রতিবিম্বের প্রকৃতি, অবস্থান ও বিবর্ধন বস্তুর দর্পণ হইতে দূরত্বের উপর নির্ভর করে। নিম্নে ৪৪ ও ৪৫ অনুচ্ছেদের নিয়মানুসারে অঙ্কিত চিত্রের সাহায্যে ছয়টি বিশেষ দৃষ্টান্ত দেওয়া গেল। প্রত্যেক ক্ষেত্রে বস্তুকে প্রধান

অক্ষের উপর অবস্থিত ধরা হইয়াছে। বস্তুর শীর্ষ-বিন্দু P হইতে দুইটি রশ্মি—একটি অক্ষের সহিত সমান্তরাল ও একটি কেন্দ্রের মধ্য দিয়া—টানা হইয়াছে।

(ক) **অবতল দর্পণ** :—

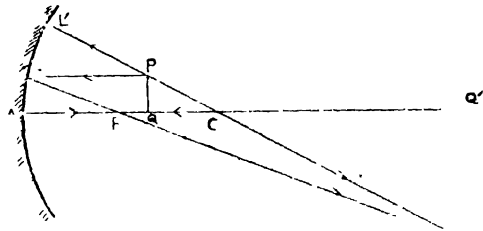
(১) **বস্তু অসীম দূরত্বে অবস্থিত :** অসীম দূরত্বে অবস্থিত কোন বস্তুর যে কোন বিন্দু হইতে নির্গত রশ্মিগুচ্ছ সমান্তরাল ধরা হয়। এই সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলনের পর মুখ্য ফোকাসে কেন্দ্রীভূত হয় (converge)। এই প্রতিবিম্ব **সদ্, উল্টা** ও **খুব ছোট** হয়। প্রতিবিম্বকে পর্দায় ধরা যায়।

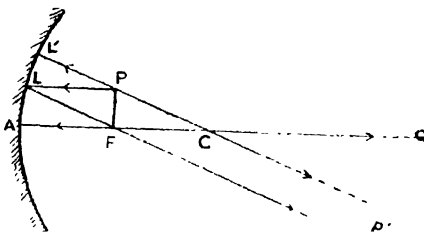
(২) **বস্তু বক্রতা-কেন্দ্র C ও অসীমের মধ্যে অবস্থিত :** ৪৬নং চিত্রে বস্তু PQ কেন্দ্র Cএর বাহিরে অক্ষের উপর লম্বভাবে অবস্থিত। বস্তুর প্রান্তীয় P বিন্দু হইতে দুইটি রশ্মি—একটি অক্ষের সহিত সমান্তরাল PL রশ্মি ও অপরটি কেন্দ্র Cর মধ্য দিয়া PCL′ রশ্মি দর্পণে প্রতিফলনের পর যথাক্রমে LP′ ও L′CP পথে চলিয়া যায়। ইহাদের ছেদ-বিন্দু P′, Pএর প্রতিবিম্ব। বস্তুর প্রান্তীয় Q বিন্দু হইতে অক্ষ বরাবর QA রশ্মি প্রতিফলনের পর AQ বরাবর প্রতিফলিত হয় সুতরাং Qর প্রতিবিম্ব Q′ অক্ষের উপর থাকে। P′Q′ অক্ষের উপর অভিলম্ব টান। P′Q′ই PQর প্রতিবিম্ব। ইহা কেন্দ্র C ও মুখ্য ফোকাস Fএর মধ্যে গঠিত হয়। এই প্রতিবিম্ব **সদ্, উল্টা** ও **ছোট** হয়।

(৩) **বস্তু বক্রতা-কেন্দ্র Cএ অবস্থিত :** PC বস্তু কেন্দ্র Cতে অবস্থিত। P হইতে নির্গত PL রশ্মি অক্ষের সহিত সমান্তরাল বলিয়া প্রতিফলনের পর LP′ পথে যায় এবং PFL′ রশ্মি Fএর মধ্য দিয়া আসে বলিয়া অক্ষের সহিত সমান্তরাল L′P′ পথে প্রতিফলিত হয়। ইহাদের ছেদ বিন্দু P′, Pএর

৪৭নং চিত্র

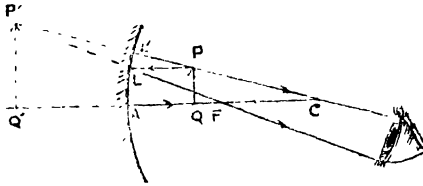
প্রতিবিম্ব হয়। Cএর প্রতিবিম্ব C হইবে কারণ C হইতে নির্গত রশ্মিCA

এই একই AC পথে প্রতিফলিত হয়। সুতরাং PCর প্রতিবিম্ব P′C। জ্যামিতি হইতে প্রমাণ করা যায় যে PC = P′C সুতরাং প্রতিবিম্ব P′C বস্তুর **সমান, সদ্, উল্‌টা** হয় এবং ইহা বক্রতাকেন্দ্র Cতে গঠিত হয়।

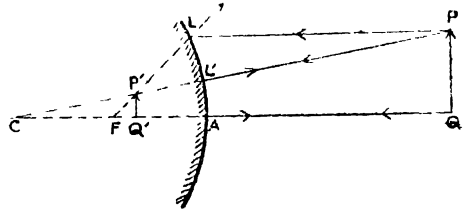
(৪) বস্তু বক্রতা-কেন্দ্র C ও মুখ্য ফোকস Fএর মধ্যে অবস্থিত : PQ অক্ষের উপর লম্বভাবে অবস্থিত বস্তু। P হইতে দুইটি রশ্মি-অক্ষের সহিত সমান্তরাল PL রশ্মি এবং অপরটি C কেন্দ্র হইতে দর্পণ অভিমুখে PL′ রশ্মি — প্রতিফলনের পর P′ বিন্দুতে ছেদ করে। ∴ Pএর প্রতিবিম্ব P′ এবং পূর্বোক্ত নিয়মে Qএর প্রতিবিম্ব Q′ ∴ PQএর প্রতিবিম্ব P′Q′। প্রতিবিম্ব P′Q′ **সদ্, উল্‌টা, বিবর্ধিত** হয়। ইহা F ও Cএর মধ্যে গঠিত হয়।

৮নং চিত্র

(৫) বস্তু মুখ্য ফোকসে অবস্থিত : ইহা (১) নং ঘটনার বিপরীত। P হইতে দুইটি রশ্মি একটি অক্ষের সহিত সমান্তরাল PL রশ্মি ও C কেন্দ্র হইতে দর্পণ অভিমুখে PL′ রশ্মি প্রতিফলনের পর সমান্তরাল হয় এবং অসীমে মিশে। প্রতিবিম্ব **সদ্, উলটা ও খুব বিবর্ধিত** হয়।

৯নং চিত্র

(৬) বস্তু দর্পণের মধ্যবিন্দু ও ফোকসের মধ্যে অবস্থিত : P হইতে দুইটি রশ্মি—একটি অক্ষের সহিত সমান্তরাল PL রশ্মি ও

অপরটি C কেন্দ্র হইতে দর্পণ অভিমুখে PL′ রশ্মি প্রতিফলনের পর যথাক্রমে মুখ্য ফোকাস Fএর মধ্য দিয়া এবং কেন্দ্র Cএর মধ্য দিয়া যায়। ইহারা অপসারী রশ্মি সেইজন্য ইহারা সদ্ প্রতিবিম্ব উৎপন্ন করে না। ইহাদিগকে পশ্চাৎ দিকে বর্ধিত করিলে P′তে মিশে ∴ Pএর প্রতিবিম্ব P′। Qএর প্রতিবিম্ব Q′ অক্ষের উপর অবস্থিত। প্রতিবিম্ব P′Q′ **অসদ্, সোজা ও বিবর্ধিত** এবং দর্পণের পশ্চাতে গঠিত হয়।

৫০নং চিত্র

(খ) **উত্তল দর্পণ** :—

P হইতে দুইটি রশ্মি - একটি অক্ষের সমান্তরাল PL রশ্মি ও অপরটি C কেন্দ্র অভিমুখে PL′ রশ্মি প্রতিফলনের পর যথাক্রমে F ও C হইতে FL ও CL′ রেখা বরাবর আসে মনে হয়। ইহাদের ছেদ-বিন্দু P′, Fএর প্রতিবিম্ব। Qর প্রতিবিম্ব Q′ অক্ষ CQর উপর থাকে ∴ PQর প্রতিবিম্ব P′Q′ দর্পণের পশ্চাতে গঠিত হয়। প্রতিবিম্ব **অসদ্, সোজা ও ক্ষুদ্রতর**। ইহা দেখান যায় যে বস্তু উত্তল দর্পণ হইতে যে কোন দূরত্বে থাকুক না কেন সর্বক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব অসদ্, সোজা ও ক্ষুদ্রতর হয় তবে বস্তু দর্পণ হইতে যত দূরে যাইবে প্রতিবিম্ব তত ক্ষুদ্র হইবে।

৫১নং চিত্র

দ্রষ্টব্য : চিহ্নগুলি মনে রাখিবে :—**u** সর্বদা + **ধনাত্মক**। **v** সদ্ প্রতিবিম্বে + **ধনাত্মক**, অসদ্ প্রতিবিম্বে − **ঋণাত্মক** ; **f** অবতল দর্পণে + **ধনাত্মক**, উত্তল দর্পণে − **ঋণাত্মক**।

৫২। সারাংশ

অবতল দর্পণ

বস্তুর অবস্থান	চিত্র নং	প্রতিবিম্বের অবস্থান	প্রতিবিম্বের প্রকৃতি	আকৃতি
১। অসীমে		মুখ্য ফোকাস Fএ	সদ্, উল্টা	খুব ক্ষুদ্রতর
২। অসীম ও Cএর মধ্যে	৪৬	C ও Fএর মধ্যে	,, ,,	ক্ষুদ্রতর
৩। Cতে	৪৭	Cতে	,, ,,	সমানাকৃতি
৪। C ও Fএর মধ্যে	৪৮	C ও অসীমের মধ্যে	,, ,,	বিবর্ধিত
৫। Fতে	৪৯	অসীমে	,, ,,	খুব বিবর্ধিত
৬। F ও Aর মধ্যে	৫০	দর্পণের পশ্চাতে	অসদ্, সোজা	বিবর্ধিত
৭। Aতে		Aতে	,, ,,	সমানাকৃতি

উত্তল দর্পণ

বস্তুর অবস্থান	চিত্র নং	প্রতিবিম্বের অবস্থান	প্রতিবিম্বের প্রকৃতি	আকৃতি
১। অসীমে		Fতে	অসদ্, সোজা	ক্ষুদ্রতর
২। অসীম ও Aর মধ্যে	৫১	F ও Aর মধ্যে	,, ,,	,,

৫৩। সূত্র হইতে উপরোক্ত ফলাফলের সত্যতা নিরূপণ (Verification from the formula) ঃ $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}=\frac{2}{r}$ এই সূত্র দ্বারা বস্তুর ও প্রতিবিম্বের আপেক্ষিক অবস্থান ও আকৃতির পরিবর্তনের সত্যতা নিরূপণ করা যায় :—

(ক) অবতল দর্পণ

(১) বস্তু অসীমে ঃ এখানে $u=\infty$ $\therefore \frac{1}{u}=0$ $\therefore$ সূত্র হইতে $\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$ or $v=f$ সুতরাং প্রতিবিম্ব Fতে গঠিত হয়। আবার $m=-\frac{v}{u}=-\frac{v}{\infty}$

$\therefore$ প্রতিবিম্ব উল্টা ও খুব ক্ষুদ্র হয়।

(২) বস্তু অসীম ও Cএর মধ্যে ঃ এখানে $u>2f$ এবং $<\infty$ ∴ সূত্র হইতে, $\frac{1}{v}>\frac{1}{2f}$ এবং $<\frac{1}{f}$ ∴ $v>2f$ এবং $>f$ ∴ প্রতিবিম্ব F ও C এর মধ্যে গঠিত হয়। আবার $m=-\frac{v}{u}$ ∴ প্রতিবিম্ব উল্‌টা ও ক্ষুদ্রতর হয় কারণ $v<u$

(৩) বস্তু C তে ঃ এখানে $u=r=2f$. ∴ সূত্র হইতে $\frac{1}{v}=\frac{2}{r}-\frac{1}{r}=\frac{1}{r}$

∴ $v=r$ সুতরাং প্রতিবিম্বও C তে গঠিত হয়।

আবার $m=-\frac{v}{u}=-\frac{r}{r}=-1$ সুতরাং প্রতিবিম্ব উল্‌টা ও বস্তুর সমান আকৃতির হয়।

(৪) বস্তু C ও F এর মধ্যে ঃ $u>f$ ও $<2f$ ∴ $\frac{1}{u}<\frac{1}{f}$ ও $>\frac{1}{2f}$

∴ $\frac{1}{v}>\frac{1}{f}-\frac{1}{f}$ ও $<\frac{1}{f}-\frac{1}{2f}$ বা $\frac{1}{v}>0$ ও $<\frac{1}{2f}$.

∴ $v<\infty$ ও $>2f$ সুতরাং প্রতিবিম্ব C ও অসীমের মধ্যে গঠিত হয়;

আবার $m=-\frac{v}{u}$ এখানে $v>u$ ∴ প্রতিবিম্ব উল্‌টা ও বিবর্ধিত হয়।

(৫) বস্তু F তে ঃ এখানে $u=f$ ∴ $\frac{1}{v}=\frac{1}{f}-\frac{1}{f}=0$

∴ $v=\infty$। সুতরাং প্রতিবিম্ব অসীমে গঠিত হয়।

আবার $m=-\frac{v}{a}=\frac{-\infty}{u}$ ∴ প্রতিবিম্ব উল্‌টা ও খুব বিবর্ধিত হয়।

(৬) বস্তু F ও Aর মধ্যে ঃ এখানে $u<f$ ∴ $\frac{1}{v}=\frac{1}{f}-\frac{1}{u}=$ ঋণাত্মক সংখ্যা ∴ v ঋণাত্মক ∴ প্রতিবিম্ব অসদ্ হয়।

(খ) সমতল দর্পণ ঃ সমতল দর্পণের $r=\infty$ ধরা যায় ∴ সূত্রে $r=\infty$ রাখিলে $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{2}{\infty}=0$ বা $\frac{1}{v}=-\frac{1}{u}$ ∴ $v=-u$

সুতরাং সমতল দর্পণে বস্তুর দূরত্ব = প্রতিবিম্বের দূরত্ব কিন্তু প্রতিবিম্ব দর্পণের পশ্চাতে হয়।

(গ) উত্তল দর্পণ ঃ উত্তল দর্পণের f ঋণাত্মক হয়। $\therefore \frac{1}{v}+\frac{1}{u}=-\frac{1}{f}$ or $\frac{1}{v}=-\frac{1}{f}-\frac{1}{u}$ সুতরাং uএর মান যাহাই হউক v সব সময়েই ঋণাত্মক হয়। অর্থাৎ উত্তল দর্পণে প্রতিবিম্ব সব সময়েই **অসদ্** হয়।

(১) যখন $u=\infty$ তখন $v=-f$ সুতরাং বস্তু অসীমে থাকিলে প্রতিবিম্ব ফোকসে গঠিত হয়।

(২) যখন $u>0$ এবং $<\infty$ তখন $v<-f$ হয়। সুতরাং বস্তু অসীম ও দর্পণের মধ্যে থাকিলে প্রতিবিম্ব ফোকস ও মধ্য-বিন্দুর মধ্যে গঠিত হয়।

৩৪। **মুখ্য ফোক্সের অনুবন্ধ ফোকস্** (Conjugate Foci with Principal Focus as origin), **Newtonএর সূত্র** ঃ—

দর্পণের মধ্যবিন্দু A হইতে বস্তুর ও প্রতিবিম্বের দূরত্ব মাপিয়া $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ এই সূত্র নির্ণয় করা হইয়াছে। মুখ্য ফোকস্ হইতে বস্তু ও প্রতিবিম্বের দূরত্ব মাপিলে এই সূত্র সরল হয়।

$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ — এই সূত্রকে f দিয়া গুণ করিলে আমরা পাই $\frac{f}{v}+\frac{f}{u}=1$।

বা $uv=uf+vf$ বা $uv-uf-vf+f^2=f^2$

বা $u(v-f)-f(v-f)=f^2$ বা $(u-f)(v-f)=f^2$.

এখন মনে কর মুখ্য ফোকস্ হইতে বস্তু ও প্রতিবিম্বের দূরত্ব যথাক্রমে x ও y $\therefore$ $x=u-f$, $y=v-f$. $xy=f^2$..........(২০)

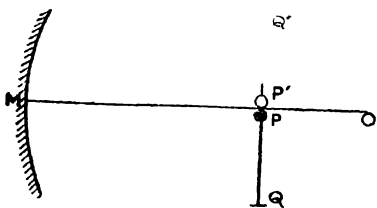
এখানে f ঋণাত্মক বা ধনাত্মক হউক না কেন, f^2 সব সময়ই ধনাত্মক, সুতরাং x ও yএর চিহ্ন একই প্রকার হওয়া দরকার নচেৎ তাহাদের গুণফল ধনাত্মক হইবে না। অর্থাৎ বস্তু ও প্রতিবিম্ব মুখ্য ফোকসের এক ধারে থাকিবে। যদি $x>-<f$ হয় তবে $y>->f$ হইবে।

সুতরাং যদি অক্ষ বরাবর বস্তুকে কোন নির্দিষ্ট দিকে সরাইলে প্রতিবিম্ব অক্ষ বরাবর বিপরীত দিকে সরিবে।

৫৫। **বক্রতা-ব্যসার্ধ ও ফোকস্-দূরত্ব নির্ণয়** (Experimental Determination of Radius of Curvature and Focal Length):—

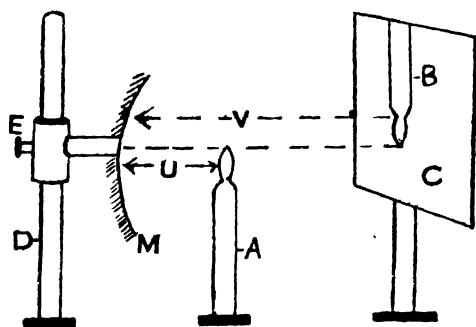
(১) **অবতল দর্পণ**ঃ

(ক) **লম্বন পদ্ধতি** (Parallax Method): **নীতি**ঃ আমরা ৫১ (৩) অনুচ্ছেদে দেখিয়াছি যে কোন অবতল দর্পণের বক্রতা-কেন্দ্র C-তে কোন বস্তু রাখিলে বক্রতা-কেন্দ্রেই উহার উল্টা সদ্ প্রতিবিম্ব হয়। সুতরাং এখানে $u=v=r$. আবার $\frac{r}{2}=f$:

পরীক্ষাঃ ছোট কাষ্ঠখণ্ডের গায়ে একটি পিন PQ আঁট। একটি M অবতল দর্পণের সম্মুখে মোটামুটি অক্ষ বরাবর পিনটি এদিক-ওদিক সরাইয়া এমন জায়গায় স্থির কর যেখানে খালি চোখে PQ পিন ও তাহার উল্টা সদ্ প্রতিবিম্ব P'Q'কে এক সরল রেখায় এবং পিনের মাথা ও প্রতিবিম্বের মাথা ঠেকিয়া থাকিতে দেখা যায়, চোখ ঘুরাইয়া যে দিক হইতে ইহাদিগকে লক্ষ্য করা যাক্ না কেন। পিনের এই অবস্থান হইবে বক্রতার কেন্দ্র C। দর্পণ হইতে P পিনের এই দূরত্ব মাপ। এই দূরত্ব $=r$, ইহার অর্ধেক $=f$. কারণ $\frac{r}{2}=f$.

৫২নং চিত্র

(খ) **U-V পদ্ধতি**ঃ **নীতি**ঃ $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{2}{r}=\frac{1}{f}$। এখানে v ও u জানা থাকিলে r বা f বাহির করা যায়।

পরীক্ষাঃ একটি D লম্ব দণ্ডে E বন্ধনী দিয়া M দর্পণ আঁট যাহাতে দর্পণের অক্ষ অনুভূমিক হয়। অন্ধকার ঘরে টেবিলের উপর দর্পণ সুদ্ধ দণ্ডকে রাখ। দর্পণের

সম্মুখে একটি প্রজ্জ্বলিত বাতি A এমন ভাবে রাখ যাহাতে শিখার শীর্ষবিন্দু দর্পণের অক্ষ বরাবর থাকে। C কাগজের পর্দাকে বাতির সম্মুখে রাখ। এখন বাতিকে ফোকস্-দূরত্বের বাহিরে রাখিলে পর্দায় একটি উল্টা ও সদ প্রতিবিম্ব পড়িবে। বাতিকে স্থির রাখিয়া পদাকে সরাও যতক্ষণ না প্রতিবিম্ব খুব উজ্জ্বল ও স্পষ্ট হয়। স্কেল দিয়া দর্পণ হইতে শিখার ও প্রতিবিম্বের দূরত্ব মাপ। এই দূরত্ব যথাক্রমে $-u$ ও v হয়। এখন সূত্র সাহায্যে r ও f বাহির কর। বাতিকে দর্পণ হইতে বিভিন্ন দূরত্বে রাখ। প্রত্যেক বার u ও v মাপ। প্রত্যেক বার f বা r বাহির কর। ইহাদের গড় f বা rএর মান হইবে।

৫৩নং চিত্র

দ্রষ্টব্য : লম্বন পদ্ধতির জন্য অন্ধকার ঘরের দরকার হয় না। এই পদ্ধতিতে প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ভুলভাবে পাওয়া যায়।

(২) **উত্তল দর্পণ :** দর্পণ Mকে দণ্ডের উপর রাখ যাহাতে ইহার অক্ষ অনুভূমিক হয়। দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধের কম ফোকস্-দূরত্ব বিশিষ্ট একটি উভোত্তল (double convex) L লেন্স দর্পণের সামনে রাখ। লেন্সের সম্মুখে ও ফোকস্-দূরত্বের বাহিরে একটি পিন PQ রাখ যাহাতে পিনের শীর্ষবিন্দু P অক্ষের উপর থাকে। এখন লেন্সের যে দিকে পিন আছে সেই দিকে একটি সদ্ প্রতিবিম্ব হইবে। Mকে সরাইয়া এমন জায়গায় আন যাহাতে প্রতিবিম্ব P′Q′ ও পিন PQর অবস্থানের মধ্যে কোন লম্বন (parallax) না থাকে। এই অবস্থায় P হইতে রশ্মিগুচ্ছ লেন্সের A বিন্দুতে আপতিত হইয়া লেন্সের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত (refracted) হইয়া অভিলম্বভাবে দর্পণে B বিন্দুতে পড়িবে এবং একই পথে প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় লেন্সে A′

বিন্দুতে পড়িবে এবং পুনরায় লেন্সে প্রতিসৃত হইয়া Pতে মিশিবে। এইরূপে PQ পিনের PQ′ প্রতিবিম্ব উৎপন্ন হইবে। উপরোক্ত ঘটনা তখনই সম্ভব যখন দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধ $r = Mp$. যদি দর্পণ না থাকে তবে PA রশ্মিগুচ্ছ লেন্সের মধ্য দিয়া প্রতিসরণের পর pতে কেন্দ্রীভূত হইবে এবং কেবল লেন্সের দরুণ PQর প্রতিবিম্ব pq হইবে। LM দূরত্ব মাপ, M সরাও। লেন্স ও PQ পিনকে স্বস্থানে স্থির রাখিয়া আর একটি পিন লইয়া চোখ ঘুরাইয়া লম্বন পদ্ধতিতে কেবল লেন্সের দরুণ গঠিত pq প্রতিবিম্বের অবস্থান বাহির কর। Lp মাপ।

৮নং চিত্র

$$\therefore \quad Lp - LM = Mp = r = 2f \cdots (২১)$$

PQ পিনকে ফোকস্ দূরত্বের বাহিরে L হইতে বিভিন্ন দূরত্বে রাখিয়া fএর বিভিন্ন মান বাহির কর। এই সকল মানের গড় f হইবে।

৫৬। **দর্পণ চেনা** (Identification of mirrors) : শুধু প্রতিবিম্বের প্রকৃতি ও আকৃতি দেখিয়া এমন কি দূর হইতে দর্পণ চেনা যায় :—

প্রতিবিম্বের প্রকৃতি	দর্পণের প্রকৃতি
সোজা, বস্তুর সমানাকৃতি ও দর্পণের পশ্চাতে ...	সমতল
সোজা, ক্ষুদ্রতর ও দর্পণের ফোকস্ দূরত্বের মধ্যে ...	উত্তল
সোজা ও বিবর্ধিত কিংবা উল্টা ও বিবর্ধিত বা ক্ষুদ্রতর	অবতল

৫৭। **দর্পণের ব্যবহার** : বিভিন্ন আলোকীয় (optical) যন্ত্রে ও নানা উদ্দেশ্যে দর্পণ ব্যবহৃত হয়।

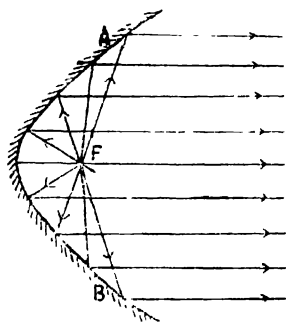
(ক) **সমতল দর্পণ** : মুখ-দেখা আয়না (looking-glass) সমতল দর্পণের দৃষ্টান্ত। নিখুঁত আয়নার নিম্নলিখিত গুণ থাকা চাই :—(ক) আয়নার উপরিভাগ

সম্পূর্ণ সমতল হইবে। সমতল না হইলে অর্থাৎ আয়নার উপরিভাগ উচু নীচু হইলে প্রতিবিম্বের বিভিন্ন অংশ বিভিন্ন পরিমাণে বিবর্ধিত হইবে এবং আয়না হইতে দূরে যাইলে বা কাছে আসিলে প্রতিবিম্ব আকৃতিতে ছোট-বড হইবে। (খ) কাচের বেধ কম ও সর্বত্র সমান হইবে। ইহা না হইলে যে কোন দুই রশ্মির মধ্যে আপতন কোণ ও প্রতিফলন কোণ সমান হয় না এবং প্রতিবিম্ব বিকৃত হয়। আয়নার উপর আঙ্গুলের ডগা রাখিলে ডগার ও প্রতিবিম্বের মধ্যের দূরত্ব = ২ × বেধ হয়। (গ) আয়নার পশ্চাতে ধাতব (পারদ) প্রলেপ (silvering) ভাল হওয়া প্রয়োজন। ইহাতে সামনের তলে প্রতিফলনের চেয়ে ধাতব তলে প্রতিফলন সমুজ্জ্বল হয়। (ঘ) কাচে কোন বায়ুর বুদ্বুদ থাকিবে না।

(খ) **অবতল দর্পণ**ঃ কামানর সময় মুখমণ্ডল বিবর্ধিত করিবার জন্য অবতল দর্পণ ব্যবহার করা হয়। চিকিৎসকগণ নাক কাণ বা গলার ভিতর দেখিবার জন্য ক্ষুদ্র উন্মেষের অবতল দর্পণ ব্যবহার করেন। ইহাতে ক্ষুদ্র কিন্তু উজ্জ্বল রশ্মিগুচ্ছ পাওয়া যায়।

যে কোন দীপকের পশ্চাতে উজ্জ্বল চকচকে ধাতব অবতল দর্পণ রাখিলে পশ্চাৎগামী অপসারী রশ্মিগুচ্ছ দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া সম্মুখের দিকে ফিরিয়া আসে। এই দর্পণ না থাকিলে উক্ত রশ্মিগুচ্ছ দীপকের পশ্চাতে চলিয়া যাইত। এইরূপ দর্পণকে **প্রতিফলক** (Reflector) বলে। প্রতিফলক একটি নির্দিষ্ট দিকে আলোকের দীপন-মাত্রা বাড়ায়।

৫৫নং চিত্র

অধিবৃত্তাকার দর্পণ (Parabolic Mirror)ঃ এইরূপ AB দর্পণের প্রতিফলন তলের যে কোন অংশে পতিত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ মুখ্য ফোকস Fতে কেন্দ্রীভূত হয়। সুতরাং মুখ্য ফোকসের নিকটে কোন আলো রাখিলে প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ একটু অপসারী হইয়া সম্মুখে বহু দূরে ছড়াইয়া পড়ে। মটরগাড়ী, ট্রামগাড়ী,

বাইসাইকেলের সম্মুখের আলোয় (head light) এইরূপ দর্পণ ব্যবহৃত হয়। ষ্টীমার ও জাহাজে **সন্ধানী আলোয়** (search light) অবতল অধিবৃত্তাকার দর্পণের ফোকসে আর্কদীপ (Arc Lamp) ব্যবহৃত হয়। কয়েক মাইল দূরের বস্তু এই আলোয় দেখা যায়। সন্ধানী আলো যে কোন দিকে ঘুরান যায়।

(গ) **উত্তল দর্পণ:** সমতল ও অবতল দর্পণ অপেক্ষা উত্তল দর্পণের দৃষ্টি-ক্ষেত্র (field of view) বেশী বিস্তৃত। সেইজন্য মটর গাড়ীতে বাতাস-পর্দার (wind screen) পার্শ্বে উত্তল দর্পণ লাগান থাকে। চালক পশ্চাৎ হইতে আগত কোন গাড়ীর প্রতিবিম্ব দর্পণে দেখিয়া সাবধান হয়। এই দর্পণে সোজা ও ক্ষুদ্র প্রতিবিম্ব পাওয়া যায় কিন্তু ইহার দৃষ্টিক্ষেত্র খুব বিস্তৃত। একই পরিমাণ জায়গা দেখিবার জন্য খুব বড় আকৃতির সমতল দর্পণ ব্যবহার করা দরকার হয়। তবে সমতল দর্পণের সুবিধা যে ইহাতে পশ্চাতের গাড়ীর প্রকৃত দূরত্ব ও আকৃতি বোঝা যায়। বিস্তৃত জায়গায় আলোক রশ্মি বিক্ষিপ্ত করিবার জন্য রাস্তার ল্যাম্পে উত্তল দর্পণ ব্যবহৃত হয় এবং আলোক রশ্মি কম জায়গায় কেন্দ্রীভূত করিবার জন্য বই পড়িবার সময় অবতল দর্পণ ব্যবহৃত হয়।

(ঘ) **চোঙাকৃতি দর্পণ** (Cylindrical Mirror) **:** এই দর্পণ আংশিক সমতল ও আংশিক গোলীয়। ইহাতে দেহের বিকৃত প্রতিবিম্ব দেখা যায়।

অঙ্ক ঃ নিয়ম ঃ (১) সংখ্যাগুলি উপযুক্ত চিহ্ন সহকারে লিখ। (২) সাধারণ সূত্রে u, v প্রভৃতির স্থানে চিহ্নযুক্ত সংখ্যা লিখ। (৩) যাহার সংখ্যা দেওয়া নাই তাহার চিহ্ন বদলাইবে না। (৪) f বা r ধনাত্মক ও ঋণাত্মক হইলে দর্পণ যথাক্রমে অবতল ও উত্তল হইবে। (৫) m ধনাত্মক হইলে প্রতিবিম্ব অসদ্ ও সোজা এবং ঋণাত্মক হইলে সদ্ ও উল্টা হইবে।

1. An object 4 in. high is placed 8 in. in front of a convex mirror of radius 10 in. Find the position, size and nature of the image. (C. U. 1942)

উত্তল দর্পণের জন্য $\frac{১}{v}+\frac{১}{u}=-\frac{২}{r}$..

$\therefore \frac{১}{v} = -\frac{১}{u} - \frac{২}{r} = -\frac{১}{৮} - \frac{২}{১০} = -\frac{৩}{৪০} \quad \therefore v = -\frac{৪০}{৩}$ ইঃ

যেহেতু v ঋণাত্মক সুতরাং বিম্ব অসদ্ হইবে।

$$m = -\frac{v}{u} = \frac{৪০}{৩ \times ৮} = \frac{৫}{৩}.$$

$$\therefore \text{ আকৃতি} = ৪ \times \frac{৫}{৩} = ৬\frac{২}{৩} \text{ ইঞ্চি.}$$

2. A pin 3 cms. long is placed with its middle point at a distance of 1·5 metres from a concave spherical mirror whose $r = 50$ cms. Find the position and size of the image formed. (C. U. 1925).

এখানে $u = ১৫০$ সেঃ মিঃ, $r = ৫০$ সেঃ মিঃ.

অবতল দর্পণের জন্য $\frac{১}{v} + \frac{১}{১৫০} = \frac{১}{২৫} \quad \therefore v = ৩০$ সেঃ মিঃ.

$\therefore$ প্রতিবিম্ব দর্পণের ৩০ সেঃ মিঃ সম্মুখে অবস্থিত।

$m = \frac{v}{u} = \frac{৩০}{১৫০} = \frac{১}{৫} \quad \therefore$ প্রতিবিম্বের আকার $= ৩ \times \frac{১}{৫} = ·৬$ সেঃ মিঃ.

3. A concave mirror is so placed that a candle flame is situated on its principal axis at a distance of 18 in. from its surface. An inverted image three times as long as the candle flame itself is seen sharply defined on the wall. What is the focal length of the mirror? (C. U. 1930).

$u = ১৮$ ইঃ, বিবর্ধন $m = ৩$। $m = \frac{v}{u} \quad \therefore v = mu = ৩ \times ১৮ = ৫৪$

$\frac{১}{v} + \frac{১}{u} = \frac{১}{f} \quad \therefore \frac{১}{৫৪} + \frac{১}{১৮} = \frac{১}{f} \quad \therefore f = ১৩·৫$ ই.

4. An object is placed 28 c.m. from a concave mirror whose focal length is 10 c.m. Find where the image is. Is it real or virtual? (C, U. 1933).

$\frac{১}{v} + \frac{১}{২৮} = \frac{১}{১০} \quad \therefore v = ১৫\frac{৫}{৯}$ সেঃ মিঃ দর্পণের সম্মুখে $\therefore v$ ধনাত্মক

$\therefore$ প্রতিবিম্ব সদ্।

5. An object is placed 18 c.m.s. away from a concave mirror whose $f=10$ c.m. Find the position and size of the image if the object be 4 m.ms. broad by 12 m.m. long. (P. U. 1928).

$u=$ ১৮ সেঃ মিঃ, $f=$ ১০ সেঃ মিঃ, v কত ?

$\frac{১}{v}+\frac{১}{১৮}=\frac{১}{১০}$. ∴ $v=$ ২২·৫ সেঃ মিঃ

$m=\frac{v}{u}=\frac{৪৫}{২}\div১৮=\frac{৫}{৪}$

বস্তুর দৈর্ঘ = ১·২ সেঃ মিঃ বস্তুর প্রশস্ততা = ৪ সেঃ মিঃ

প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য = ১·২ × $\frac{৫}{৪}$ = ১ ৫ সেঃ মিঃ

" প্রশস্ততা = ·৪ × $\frac{৫}{৪}$ = ·৫ সেঃ মিঃ

∴ প্রতিবিম্বের আকৃতি = (১·৫ × ৫) বর্গঃ সেঃ

প্রশ্ন

1. Distinguish between the following terms as applied to a concave mirror :—(a) focus, (b) focal length, (c) radius of curvature, (d) centre of curvature, (e) pole. (C. U. 1941).

2. Prove that the focal length is half the radius of curvature.

3. Prove that in the case of a concave mirror $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{2}{r}$

(C. U. 1930, '33, '40 ; D. U. 1938 ; P. U. 1932).

4. Trace the changes by diagrams in the position of the image and its magnification as the object is moved from a considerable distance close up to a concave mirror. (C. U. 1913, '33. D. U. 1931. P. U. 1937, A. U· 1932),

5 Show from the formula $\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$ the variation of the position and nature of the image when an object is moved from a great distance up to the mirror. (C U. 1940).

6. At what distance from a concave mirror must an object be placed that the linear size of the image is half that of the object. (D. U. 1929), Ans. $3f$.

7. Draw diagrams to illustrate and explain the formation of real and virtual images formed by a concave mirror. (D. U. 1929). Why only virtual images are formed by convex mirrors? (C. U. 1922).

8. How would you find the radius of curvature of a concave mirror by optical means alone? (C. U. 1920, 1934).

9. With mirrors which you can see but cannot touch, how would you determine whether they are plane, concave or convex? (A. U. 1918, C. U. 1941, D. U. 1927, '33, P. U. 1924).

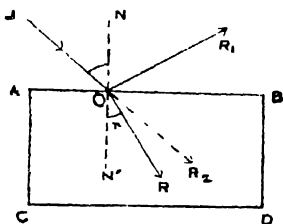
10. How would you test the quality of a good looking-glass? (C. U. 1929, D. U. 1927).

11. State the reasons why the driving mirror of a motor car is either convex or plane. (C. U. 1942).

সমতলে প্রতিসরণ

(Refraction at a plane surface)

৫৮। **প্রতিসরণ** :—কোন স্বচ্ছ সমসত্ত্ব মাধ্যমের ভিতর দিয়া আলোক রশ্মি সরল রেখায় গমন করে কিন্তু রশ্মি এক স্বচ্ছ মাধ্যম হইতে বিভিন্ন ঘনাঙ্ক বিশিষ্ট অপর স্বচ্ছ মাধ্যমে তির্যকভাবে (obliquely) আপতিত হইলে দুই মাধ্যমের বিভাগ-তলে (surface of separation) রশ্মির গতির অভিমুখ নির্দিষ্ট নিয়মানুসারে পরিবর্তিত হয়। রশ্মির এই গতির অভিমুখের পরিবর্তনকে **আলোর প্রতিসরণ** বলে। প্রথম মাধ্যমে রশ্মির পথকে **আপতিত রশ্মি** বলে। যে বিন্দুতে আপতিত রশ্মি বিভাগ-তলকে স্পর্শ করে তাহাকে **আপতন বিন্দু** বলে। দ্বিতীয় মাধ্যমে রশ্মির পথকে **প্রতিসৃত** রশ্মি বলে। দ্বিতীয় মাধ্যম প্রথম মাধ্যম অপেক্ষা ঘনতর (optically denser) হইলে প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া যায় এবং দ্বিতীয় মাধ্যম কম ঘন হইলে প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে বাঁকিয়া যায়। অর্থাৎ রশ্মি ও অভিলম্বের মধ্যস্থ কোণ পাতলা মাধ্যম অপেক্ষা ঘন মাধ্যমে ক্ষুদ্রতর হয়।

মনে কর ABCD একটি কাচের ব্লক। AB বায়ু ও কাচের বিভাগ-তল। একটি রশ্মি IO বায়ু মাধ্যমে সরল পথে আসিয়া AB বিভাগতলে O বিন্দুতে তির্যকভাবে আপতিত হইয়া কাচ মাধ্যমে OR ভিন্ন পথে চলিয়া যায়। মনে কর O বিন্দুতে NON′ অভিলম্ব। এখন IO আপতিত রশ্মি। OR প্রতিসৃত রশ্মি। আপতিত রশ্মি ও অভিলম্বের মধ্যস্থ কোণকে (∠ION) **আপতন কোণ** এবং প্রতিসৃত রশ্মি ও অভিলম্বের মধ্যস্থ কোণকে (∠RON′) **প্রতিসরণ কোণ** (angle of refraction) বলে।

৫৬নং চিত্র

এখানে লঘু (rarer) মাধ্যম হইতে ঘন মাধ্যমে আলোকরশ্মি প্রবেশ করিতেছে সেইজন্য আপতন কোণ > প্রতিসরণ কোণ হয়।

দ্রষ্টব্য ঃ মনে রাখিবে ঃ—(ক) যদিও বিভাগ-তলে রশ্মির পথ বাঁকিয়া যায় তবুও দুই মাধ্যমে উহারা সরলরেখায় গমন করে। IO ও OR দুইই সরলরেখা। (খ) রশ্মি ON অভিলম্ব বরাবর আপতিত হইলে উহা ON′ অভিলম্ব বরাবর প্রতিসৃত হইবে অর্থাৎ অভিলম্ব আপতনে (normal incidence) প্রতিসৃত রশ্মির দিক বদলায় না। (গ) IO রশ্মির কিয়দংশ OR′ পথে প্রতিফলিত হয়।

৫৯। **প্রতিসরণের নিয়ম** (Laws of Refraction) ঃ (ক) আপতিত রশ্মি, আপতন বিন্দুতে অভিলম্ব ও প্রতিসৃত রশ্মি একই সমতলে থাকে। (খ) দুইটি নির্দিষ্ট মাধ্যমের ও একই বর্ণের আলোক রশ্মির জন্য আপতন কোণের সাইন (sine) ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত ধ্রুবক হয়। যদি আপতন কোণ $= \theta$ ও প্রতিসরণ কোণ $= \theta'$ হয় তবে $\frac{\sin \theta}{\sin \theta'} =$ ধ্রুবক $= \mu$ (উচ্চারণ 'মিউ')

শেষোক্ত নিয়ম আবিষ্কারক Willebrod Snelliusএর নামানুসারে **Snell's** নিয়ম বা Sineএর নিয়ম বলে।

৬০। **প্রতিসরাঙ্ক** (Refractive Index): যদি a মাধ্যম হইতে b মাধ্যমে আলোক রশ্মি যায় তবে দ্বিতীয় নিয়মানুসারে আপতন কোণের ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত ধ্রুবক হয়। এই ধ্রুবককে a মাধ্যমের তুলনায় b মাধ্যমের **প্রতিসরণাঙ্ক** বলে। ইহাকে $a\mu b$ এইরূপভাবে লিখিতে হয়। ∴ প্রতিসরাঙ্ক $= \frac{\sin \phi}{\sin \phi'} = {}_a\mu_b$ ......(২২)

যদি a মাধ্যম অপেক্ষা b মাধ্যম ঘনতর হয় তবে $\phi > \phi'$ হইবে ∴ $\sin \phi <$ $\sin \phi'$ হইবে। ∴ প্রতিসরাঙ্কের মান এক (unity) অপেক্ষা বেশী হইবে। আর যদি b মাধ্যম অপেক্ষা a মাধ্যম ঘনতর হয় তবে প্রতিসরাঙ্কের মান এক অপেক্ষা কম হইবে।

যদি a মাধ্যম শূন্য (vacuum) হয় তবে b মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের মান সর্বোচ্চ হইবে। ইহাকে b মাধ্যমের **চরম প্রতিসরাঙ্ক** (Absolute Index of Refraction) বলে। সকল দ্রব্যের চরম প্রতিসরাঙ্ক একের চেয়ে বেশী।

সাধারণতঃ বায়ু মাধ্যম হইতে দ্বিতীয় মাধ্যমে আলোক রশ্মি গমন করে সেইজন্য কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলিলে বায়ুর সহিত আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক বুঝায়।

"বায়ু হইতে কাচে প্রতিসরাঙ্ক ১.৫" বলিলে বুঝায় বায়ুতে আপতন কোণের সাইনের ও কাচে প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত সব রশ্মির জন্য ১.৫। অথবা শূন্য হইতে কাচে ও শূন্য হইতে বায়ুতে প্রতিসরাঙ্ক দ্বয়ের অনুপাত ১.৫।

কতকগুলি দ্রব্যের প্রতিসরাঙ্ক (হলদে রশ্মি):—হীরক—২.৪২, খনিজ লবণ—১.৫৪, কাচ—১.৫, তার্পিণ—১.৪৬, জল—১০.৩৩.

আলোকের তরঙ্গবাদ (wave theory) অনুসারে ঘনতর মাধ্যম অপেক্ষা লঘুতর মাধ্যমে আলোক তরঙ্গের বেগ বেশী এবং কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক সেই মাধ্যমে তরঙ্গের বেগের ব্যস্তানুপাতিক হয় সুতরাং

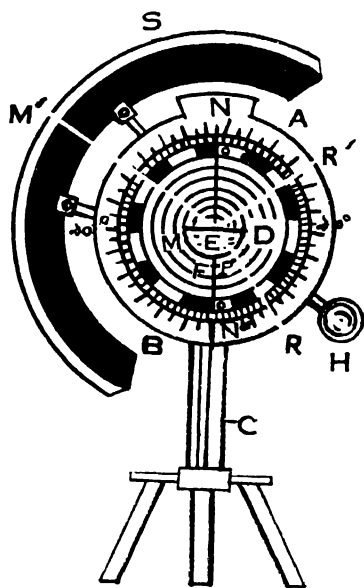
$$\text{বায়ু}\ \mu\ \text{কাচ} = \frac{\text{বায়ুতে আলোকের বেগ}}{\text{কাচে আলোকের বেগ}}$$

। পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে এই নিয়ম সত্য। দুই মাধ্যমে আলোকের বেগের পার্থক্যই প্রতিসরণের কারণ (পরে দেখ)

৬১। **নিয়মের সত্যতা নিরূপণ** (Verification of the laws) :— দুইটি উপায়ে এই নিয়মের সত্যতা নিরূপণ করা যায়, যথা :—

(ক) **Hartleএর আলোকীয় চাক্তির (optical disc) দ্বারা**

যন্ত্রের বিবরণ :—(৯ অনুচ্ছেদ তুলনা কর)

(১) AB একটি বৃত্তাকার চাক্তি ডিগ্রীতে অংশাঙ্কন করা আছে। C দণ্ডের উপর ইহা লম্বভাবে স্থাপিত। ইহাকে H হাতল দিয়া লম্বতলে (vertical plane) ঘুরান যায়। (২) চাক্তিটা চার অংশে বা পাদে (quadrant) বিভক্ত। প্রত্যেক অংশ O° হইতে ৯০° পর্যন্ত অংশাঙ্কিত থাকে। ৯০°—৯০° ব্যাস অনুভূমিক এবং O°—O° ব্যাস লম্ব। (৩) চাক্তির কেন্দ্রে MFD একটি কাচের অর্ধবৃত্তাকার ফলক (slab) এমনভাবে অবস্থিত যে ইহার অনুভূমিক তল MED ৯০°—৯০° ব্যাস বরাবর থাকে এবং O°—O° ব্যাস কাচ ফলকের কেন্দ্রের মধ্য দিয়া যায়। মনে কর চাক্তির কেন্দ্রের মধ্য দিয়া NN′ অভিলম্ব O°—O° ব্যাস বরাবর যায়। (৪) S পর্দায় একটি ছিদ্র M′ (slit) আছে। ছিদ্রটি ঢাক্না (slide) দিয়া ঢাকিয়া ছোট-বড় করা যায়।

৫৭নং চিত্র

পরীক্ষা :—মনে কর কোন সমতল দর্পণ হইতে প্রতিফলিত M′E ক্ষুদ্র রশ্মিগুচ্ছ M′ ছিদ্র দিয়া চাকতির তল বরাবর যাইয়া তির্যকভাবে কাচ ফলকের কেন্দ্র Eতে আপতিত হয়। ইহার কিয়দংশ EP পথে প্রতিসৃত হয় এবং কিয়দংশ চাকতির তল বরাবর ER′ পথে প্রতিফলিত হয়। প্রতিসৃত EP রশ্মি ফলকের MFD বক্রতলে অভিলম্বভাবে আপতিত হয় কারণ EP হইল MFD অর্ধবৃত্তের

ব্যাস। সুতরাং EP প্রতিসৃত রশ্মি দিক পরিবর্তন না করিয়া চাকৃতির তল বরাবর PR পথে চলিয়া যায়। আমরা জানি E বিন্দুতে NN' অভিলম্ব, সুতরাং আপতিত M'E রশ্মি, NN' অভিলম্ব ও প্রতিসৃত রশ্মি ER একই সমতলে থাকে। ইহাতে **প্রথম নিয়ম** প্রমাণিত হয়।

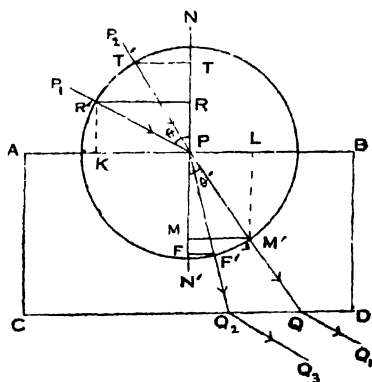
এইবার চাকতির অংশাঙ্কন হইতে আপতন কোণ M'EN ও প্রতিসরণ কোণ REN' পড়। পর্দাকে স্থির রাখিয়া চাকতিকে ঘুরাইলে আপতন কোণ ও প্রতিসরণ কোণ পরিবর্তিত হইবে। এইরূপ কয়েকবার ঘুরাইয়া আপতন কোণ ও প্রতিসরণ কোণ বাহির কর। প্রত্যেক বার $\frac{\text{Sin } M'EN}{\text{Sin } REN'}$ একই হইবে। ইহাতে **দ্বিতীয় নিয়ম** প্রমাণিত হয়।

(খ) পিন দ্বারা (Pin Method)

দ্বিতীয় নিয়ম : অঙ্কন বোর্ডের উপর সাদা কাগজ আঁট। ABCD একটি আয়তাকার কাচ ফলক কাগজের উপর রাখ। সূচাল পেন্সিল দিয়া ইহার সীমারেখা (outline) টান। খাড়া AB তলের গা ঘেঁসিয়া P পিন লম্বভাবে পোত এবং একই দিকে একটু দূরে P_1 পিন পোত যাহাতে P_1P সরলরেখা তির্যকভাবে AB তলে P বিন্দুতে মেশে। ফলকের অপর পার্শ্ব CD হইতে কাচফলকের মধ্য দিয়া P ও P_1 পিনকে তির্যকভাবে দেখিয়া কাচ ফলকের CD

১৮নং চিত্র

গা ঘেষিয়া একটি পিন Q এবং একটু দূরে Q_1 পিন এমনভাবে পোত যাহাতে P_1, P, Q, Q_1 পিনগুলি এক সরল রেখায় মনে হয়।

এইরূপে P_2, Q_2, Q_3 পিন পোত যাহাতে P_2, P, Q_2, Q_3 পিনগুলি এক সরল রেখায় মনে হয়।

ফলক ও পিনগুলি সরাও। পিনের ছিদ্রগুলি P_1P, P_2P, PQ, QQ_1, PQ_2, Q_2Q_3 রেখা দ্বারা যোগ কর। P বিন্দুতে NPN_1 অভিলম্ব টান। P_1P আপতিত রশ্মির আনুসঙ্গিক প্রতিসৃত রশ্মি হইল PQ এবং P_2P আপতিত রশ্মির আনুসঙ্গিক প্রতিসৃত রশ্মি হইল PQ_2.

P'কে কেন্দ্র করিয়া সুবিধাজনক ব্যাসার্ধ লইয়া একটি বৃত্ত টান। মনে কর বৃত্তটি P_1P, P_2P, PQ, PQ_2 রেখাগুলিকে যথাক্রমে R', T', M', F' বিন্দুতে ছেদ করে। NPN_1এর উপর R' R, T' T, M'M, F'F লম্ব টান।

আপতিত রশ্মি P_1P এর জন্য $\dfrac{\text{Sin } P_1PN \text{ (আপতন কোণ} = \theta)}{\text{Sin } QPN' \text{ (প্রতিসরণ কোণ} = \theta')}$

$= \dfrac{R'R}{RP} - \dfrac{M'M}{PM'} = \dfrac{R'R}{M'M}$ ($PR' = PM'$ একই বৃত্তের ব্যাসার্ধ বলিয়া)

অনুরূপভাবে আপতিত রশ্মি P_2Pর জন্য $\dfrac{\text{Sin } P_2PN}{\text{Sin } Q_2PN'} = \dfrac{T'T}{F'F}$

এখন স্কেল দিয়া মাপিলে দেখা যাইবে $\dfrac{R'R}{M'M} = \dfrac{T'T}{F'F} = 1{\cdot}5$। এইরূপ অন্য যে কোন রশ্মি লইলে আনুসঙ্গিক অনুপাত সমান হইবে। ইহাতে **দ্বিতীয় নিয়ম** প্রমাণিত হয়।

প্রথম নিয়ম ঃ আপতিত রশ্মি, প্রতিসৃত রশ্মি ও অভিলম্ব কাগজের তলে থাকে। ইহাতে **প্রথম নিয়ম** প্রমাণিত হয়।

প্রথম নিয়মটি নিম্নলিখিত উপায়ে বাহির করা যায় ঃ—

P_1 ও P পিন এমনভাবে পোত যাহাতে কাগজের তলের উপর ইহাদের উচ্চতা সমান হয়। Q ও Q_1 পিন এমনভাবে পোত যাহাতে P_1, P, Q, Q_1 পিনগুলির মাথা এক রেখায় দেখা যায়। স্কেল দিয়া মাপিলে Q ও Q_1 পিনের উচ্চতা P_1 ও P_2 পিনের উচ্চতার সমান হয়। অর্থাৎ একটি রশ্মি P_1 ও P পিনের মাথার উপর দিয়া আসিয়া Q ও Q_1 পিনের মাথার উপর দিয়া প্রতিসৃত হয়। অতএব আপতিত রশ্মি, প্রতিসৃত রশ্মি ও অভিলম্ব একই তলে থাকে। (৫৮নং চিত্র)

দ্রষ্টব্য ঃ (ক) আপতন ও প্রতিসরণ কোণ মাপিয়া তালিকা হইতে কোণগুলির Sine দেখিয়া μ বাহির করা যায়। μ প্রত্যেক ক্ষেত্রে সমান হয়।

(খ) আপতন বিন্দু P হইতে সমদূরত্বে আপতিত রশ্মি ও প্রতিসৃত রশ্মির উপর অবস্থিত যে কোন দুইটি বিন্দু R′ ও M′ হইতে অভিলম্ব NPN′ উপর অঙ্কিত লম্ব R′R ও M′M এর অনুপাত সর্বদাই সমান হয়।

(গ) উপরোক্ত প্রক্রিয়ায় **পিনের দ্বারা প্রতিসরাঙ্ক বাহির করা যায়।**

৬২। **জ্যামিতিক অঙ্কন দ্বারা প্রতিসৃত রশ্মির পথ নির্ণয়** (Path of the Refracted Ray by Geometrical Construction): মনে কর a ও b দুইটি মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক $\mu = p/q$. এইবার b মাধ্যমে প্রতিসৃত রশ্মির অভিমুখ বাহির কর। ৫৮নং চিত্রে মনে কর ABCD কাচফলক হইল b মাধ্যম এবং AB দুই মাধ্যমের বিভাগ-তল। P বিন্দুতে P_1P একটি আপতিত রশ্মি। PA ও PB হইতে PK ও PL অংশ ছেদ কর যাহাতে $PK = q$ ও $PL = p$ হয়। K হইতে KR′ লম্ব টান। Pকে কেন্দ্র করিয়া এবং PR′ ব্যাসার্ধ লইয়া বৃত্ত টান। L হইতে LM′ লম্ব টান। PM′ প্রতিসৃত রশ্মি। NPN_1এর উপর R′R ও M′M লম্ব টান। এখন আমরা পাই

$$_a\mu_b = \frac{p}{q} = \frac{PK}{PL} = \frac{R'R}{M'M} = \frac{R'R}{PR'} = \frac{M'M}{PM'} = \frac{\text{Sin } P'PN}{\text{Sin } M'PM}$$

$\therefore$ PM′ = প্রতিসৃত রশ্মি।

অতএব μ জানা থাকিলে প্রতিসৃত রশ্মির পথ বাহির করা যায়। মনে কর বায়ু μ কাচ = ১.৫ = $\frac{৩}{২}$ $\therefore$ p = ৩ ভাগ, q = ২ ভাগ। PL = R′Kμ = $\frac{৩}{২}$ R′K.

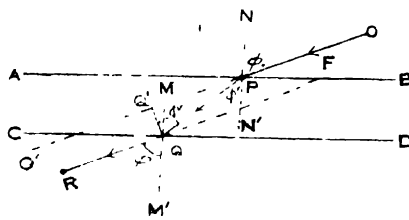
৬৩। **আলোকের পথ প্রত্যাবর্তনশীল** (reversible): আলোক-রশ্মি বিপরীতমুখী হইলেও উহার গতিপথ একই থাকে। নং চিত্রে যদি M′P আপতিত রশ্মি হয় তবে PP_1 প্রতিসৃত রশ্মি হইবে, এবং আপতন ও প্রতিসরণ কোণ উল্টাইয়া যাইবে। যদি R′PN = ϕ, M′PN′ = ϕ' হয় তবে

$$_a\mu_b = \frac{\text{Sin } \phi}{\text{Sin } \phi'}, \qquad _b\mu_a = \frac{\text{Sin } \phi'}{\text{Sin } \phi}$$

$$\therefore \; _a\mu_b \times {_b\mu_a} = \frac{\text{Sin } \phi}{\text{Sin } \phi'} \times \frac{\text{Sin } \phi'}{\text{Sin } \phi} = 1$$

$$\therefore \; _a\mu_b = \frac{1}{_b\mu_a} \quad \cdots (২৩)$$

অর্থাৎ a মাধ্যম হইতে b মাধ্যমে আলোক যাইলে b মাধ্যমের যে প্রতিসরাঙ্ক হইবে b মাধ্যম হইতে a মাধ্যমে আলোক যাইলে তাহার বিপরীত প্রতিসরাঙ্ক হইবে। জল μ বায়ু $= \frac{৩}{৪}$, বায়ু μ জল $= \frac{৪}{৩}$।

৬৪। **সমান্তরাল পাতের মধ্য দিয়া প্রতিসরণ** (Refraction through a parallel plate): দুইটি সমান্তরাল তল দ্বারা সীমাবদ্ধ পাতকে সমান্তরাল পাত বলে। এইরূপ পাতে আলোকরশ্মি ঢুকিবার সময় একবার প্রতিসৃত হয় এবং বাহির হইবার সময় আর একবার প্রতিসৃত হয়। এইরূপ প্রতিসরণে চ্যুতি $= 0$.

৫৯নং চিত্র

জ্যামিতিক প্রমাণ: মনে কর AB ও CD কোন কাচ পাতের দুইটি সমান্তরাল তল এবং কাচপাতটি বায়ুমাধ্যমের মধ্যে বসান আছে। কাচপাতের দুই ধারে বায়ু মাধ্যম। মনে কর P বিন্দুতে OP আপতিত রশ্মি তির্যকভাবে পড়িয়াছে এবং PQ আনুষঙ্গিক প্রতিসৃত রশ্মি ও ABর উপর NN' অভিলম্ব। $\therefore$ $\angle OPN =$ আপতন কোণ $= \angle \phi$, $\angle N'PQ =$ প্রতিসরণ কোণ $= \angle \phi'$। PQ রশ্মি CD তলে আপতিত হইয়া দ্বিতীয় বার বায়ুতে QR পথে প্রতিসৃত হইয়াছে। এখন প্রমাণ করিতে হইবে যে রশ্মির চ্যুতি $= 0$ অর্থাৎ কাচ হইতে নির্গত (emergent) রশ্মি QRএর পথ ও কাচে আপতিত রশ্মি OPর পথ সমান্তরাল। মনে কর কাচের প্রতিসরাঙ্ক $= \mu$.

$$\therefore \text{ Pতে প্রতিসরণ হইতে } \mu = \frac{\text{Sin OPN}}{\text{Sin N'PQ}} \cdots\cdots (\text{ক})$$

ইহা হইতে বুঝা যায় যদি কোন রশ্মি QP পথে আপতিত হয় তবে উহা PO পথে প্রতিসৃত হইবে। মনে কর Qতে CDর উপর MQM' অভিলম্ব।

$$\therefore \text{ Qতে প্রতিসরণ হইতে } \mu = \frac{\text{Sin RQM'}}{\text{Sin PQM}} \quad (\text{খ})$$

(ক) ও (খ) হইতে $\frac{\text{Sin } OPN}{\text{Sin } N'PQ} = \frac{\text{Sin } RQM'}{\text{Sin } PQM}$

কিন্তু $\angle N'PQ = \angle PQM \quad \therefore \angle OPN = \angle RQM'$

NPN′ ও MQM′ উভয় রেখা দুইটি সমান্তরাল তল AB ও CDর উপর অভিলম্ব সুতরাং উহারাও পরস্পর সমান্তরাল। সুতরাং **QR ও OP সমান্তরাল**। PQ অভিলম্বের দিকে যতটা সরিয়া আসে QR ততটা অভিলম্ব হইতে সরিয়া যায়। কোন সমান্তরাল তলবিশিষ্ট মাধ্যমের মধ্য দিয়া আলোক রশ্মি অতিক্রম করিলে ইহার অভিমুখ একই থাকে, কেবল ইহা পার্শ্বে সরিয়া যায়। এই পার্শ্ব সরণের (lateral displacement) পরিমান পাতের বেধের (thickness), আপতন কোণের ও μর মানের উপর নির্ভর করে।

পিন দ্বারা প্রমাণ ঃ ABCD কাচফলক কাগজের উপর রাখ (৫৯ চিত্র)। ইহার সীমারেখা টান। O, F, P পিন পোত। কাচের মধ্য দিয়া তাকাও এবং R, Q পিন পোত যাহাতে O, F, P, Q ও R পিনগুলি এক রেখায় দেখা যায়। কাচফলক তুলিয়া লও। OFP, PQ ও QR যোগ কর। একটি রশ্মি OP পথে আপতিত হইয়া PQ ও QR পথে দুইবার প্রতিসৃত হয়। OPকে O′ পর্যন্ত বর্ধিত কর। Q হইতে OO′এর উপর Q′ লম্ব টান। এখন মাপিয়া দেখ O′Q′Q ও RQQ′ কোণদ্বয় সমকোণ $\therefore$ **OP ও RQ সমান্তরাল**।

৬৫। **অভিলম্ব আপতন** (Normal Incidence): যদি OP রশ্মি AB তলে অভিলম্বভাবে আপতিত হয় তবে $\phi = 0°$, $\therefore \text{Sin } 0° = 0$

$$\therefore \frac{0}{\text{Sin } \phi'} = \mu \quad \therefore \text{Sin } \phi' = 0 \quad \text{or } r = 0°$$

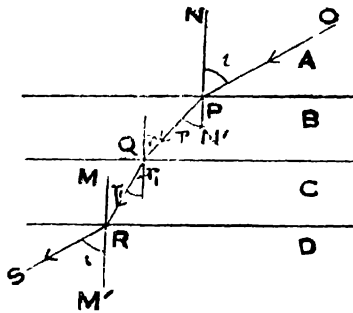
$\therefore$ রশ্মিটি সোজা চলিয়া যায়, রশ্মিটির কোন সরণ হয় না।

৬৬। **পার্শ্ব সরণের মান ঃ** ৫৯ নং চিত্রে পার্শ্ব সরণ $= QQ'$। এখন QQ′এর মান বাহির কর। $QQ' = PQ \text{ Sin } QPQ' = PQ \text{ Sin } (\phi - \phi')$

আবার $\text{Cos } \phi' = \frac{PN'}{PQ} = \frac{\text{পাতের বেধ}}{PQ}$

$$\therefore \quad QQ' = PQ \sin (\phi - \phi') = \frac{\text{পাতের বেধ}}{\cos \phi'} \times \sin (\phi - \phi') \ldots\ldots (২৪)$$

সুতরাং পাতের বেধ, μ ও আপতন কোণ জানা থাকিলে পার্শ্ব সরণ বাহির করা যায়।

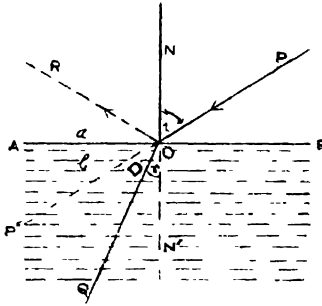
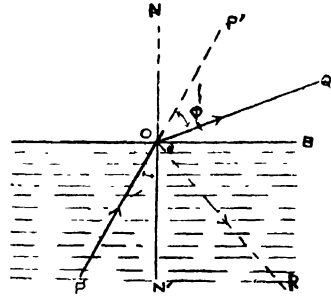
৬৭। কতকগুলি সমান্তরাল মাধ্যমের মধ্য দিয়া আলোকের প্রতিসরণ (Refraction through several parallel media) :—মনে কর বায়ু (A), জল (B), কাচ (C), বায়ু (D) মাধ্যম পর পর গায়ে গায়ে সাজান আছে। এই সকল মাধ্যমের বিভাগতলগুলি পরস্পর সমান্তরাল। মনে কর বায়ুতে একটি রশ্মি OP পথে জলে P বিন্দুতে আপতিত হইয়া PQ পথে প্রতিসৃত হয়। এই রশ্মি কাচে QR পথে প্রতিসৃত হইয়া পুনরায় বায়ুতে RS পথে প্রতিসৃত হয়। প্রথম ও শেষ মাধ্যম বায়ু। পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে যে এইরূপ ক্ষেত্রে Pতে আপতন কোণ $\angle OPN$ = Rতে নির্গমন (emergent) কোণ $\angle SRM'$। মনে কর i, r, r_1, যথাক্রমে P, Q ও R বিন্দুতে আপতন কোণ।

৬০নং চিত্র

$$\therefore \quad \text{বায়ু}\ \mu\ \text{জল} = \frac{\sin i}{\sin r},\ \text{জল}\ \mu\ \text{কাচ} = \frac{\sin r}{\sin r_1},\ \text{কাচ}\ \mu\ \text{বায়ু} = \frac{\sin r_1}{\sin i}$$

$$\therefore \quad \text{বা}\ \mu\ \text{জ} \times \text{জ}\ \mu\ \text{কা} \times \text{কা}\ \mu\ \text{বা} = \frac{\sin i}{\sin r} \times \frac{\sin r}{\sin r_1} \times \frac{\sin r_1}{\sin i} = 1$$

$$\text{বা}\ \mu\ \text{জ} \times \text{জ}\ \mu\ \text{কা} = \frac{1}{\text{কা}\ \mu\ \text{বা}} = \text{বা}\ \mu\ \text{কা} \quad \therefore \ \text{জ}\ \mu\ \text{কা} = \frac{\text{বা}\ \mu\ \text{কা}}{\text{বা}\ \mu\ \text{জ}}।$$

৬৮। প্রতিসৃত রশ্মির চ্যুতি (Deviation of a Refracted Ray) : আলোক রশ্মি প্রতিসৃত হইবার সময় আপতন বিন্দুতে বাঁকিয়া যায়। এইরূপ আলোর রশ্মির গতির অভিমুখ পরিবর্তনকে **চ্যুতি** বলে। আপতিত ও প্রতিসৃত রশ্মির অভিমুখের মধ্যের কোণ দ্বারা চ্যুতি মাপা হয়। মনে কর দুই

চিত্রে PO আপতিত রশ্মি ও OQ প্রতিসৃত রশ্মি। POকে P′ পর্যন্ত বর্ধিত কর। PO রশ্মি OP′ অভিমুখে যাইত যদি দ্বিতীয় মাধ্যম না থাকিত সুতরাং চ্যুতি $= \angle D = P'OQ$। ৬১নং চিত্রে $\angle NOP = \angle P'ON' = i$; $\angle N'OQ = r$.

৬১নং চিত্র

৬২নং চিত্র

৬২নং চিত্রে $\angle N'OP = \angle P'ON =$ আপতন কোণ $= i$, $\angle NOQ =$ প্রতিসরণ কোণ $= r$.

$\therefore$ চ্যুতি $P'OQ = i - r$ (৬১ চিত্রে) এবং $= r - i$ (৬২ চিত্রে)

১৯। **প্রতিসরণের দৃষ্টান্ত :—**

(ক) **সমতলে প্রতিসরণ : ঘনতর মাধ্যমে স্থাপিত বস্তু লঘুতর মাধ্যম হইতে দৃষ্ট :** মনে কর a লঘুতর ও b ঘনতর মাধ্যম, b মাধ্যমে P একটি বস্তু অবস্থিত এবং FF দুই মাধ্যমের বিভাগ-তল। প্রথমে একটা বিষয় স্মরণ রাখা দরকার। দর্শক উপর হইতে সোজাসুজি তাকাইয়া দেখিবেন। সুতরাং P হইতে খুব তির্যকভাবে আপতিত রশ্মি বিভাগতল হইতে প্রতিসরণের পর অভিলম্ব হইতে দূরে বাঁকিয়া যাইবে এবং দর্শকের চোখে প্রবেশ করিবে না। সুতরাং যে সব রশ্মি প্রায় সোজাসুজি উপরতলে পৌছিবে কেবল সেই সব রশ্মি বিবেচনা করা হইবে অর্থাৎ P হইতে অভিলম্বের খুব নিকটে আপতিত রশ্মিই বিবেচনা করা হইবে। P হইতে তিনটি রশ্মি লও। PO রশ্মি অভিলম্বভাবে O বিন্দুতে আপতিত হইয়া অভিলম্বভাবে লঘুতর মাধ্যমে OQ পথে প্রতিসৃত হইবে। PO_1 ও PO_2 রশ্মিদ্বয় **Oর খুব নিকটে** O_1 ও

O_2 বিন্দুতে আপতিত হইয়া যথাক্রমে O_1A' ও O_2A পথে প্রতিসৃত হয়। মনে কর $A'O_1$ ও AO_2কে পশ্চাৎ দিকে বাড়াইলে P' বিন্দুতে মেশে। তিনটি প্রতিসৃত রশ্মির অভিমুখ OP', $A'O_1$ ও AO_2 P'তে মেশে বলিয়া মনে হয়। $\therefore$ P' হইল Pএর অসদ্ প্রতিবিম্ব। অতএব O_1A' ও O_2A দুই রশ্মির মধ্যস্থিত রশ্মিগুচ্ছ চোখে পড়িলে Pএর প্রতিবিম্ব P'তে দেখা যাইবে। অর্থাৎ P বস্তু P'তে উঠিয়া আসিবে বলিয়া মনে হইবে। OP = বস্তুর EF তল হইতে প্রকৃত দূরত্ব। OP' = আপাত (apparent) দূরত্ব। মনে কর *a* হইতে *b* মাধ্যমে প্রতিসরাঙ্ক $= \mu$.

৬৩নং চিত্র

$O_2, O,$ ও O_1 বিন্দুতে যথাক্রমে MO_2M', QOP', NO_1N' অভিলম্ব টান। PO_1 রশ্মির জন্য আপতন কোণ $\phi = \angle PO_1N' = \angle OPO_1$, এবং প্রতিসরণ কোণ $\phi' = \angle A'O_1N = \angle P'O_1N' = \angle OP'O_1$

$$\text{অতএব} \quad {}_a\mu_b = \frac{\sin\phi}{\sin\phi'} = \frac{\sin OPO_1}{\sin OP'O_1} = \frac{O_1P}{O_1P_1}$$

আমরা পূর্বে ধরিয়া লইয়াছি যে O এর খুব নিকটে O_1 হইবে নচেৎ P হইতে বেশী পরিসর (wide) রশ্মিগুচ্ছ চোখের মধ্যে পড়িবে না। $\therefore$ $O_1P = OP$, $O_1P' = OP'$ (মোটামুটি)

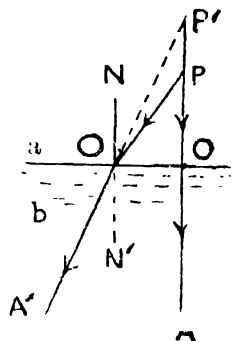
$$\therefore \quad {}_a\mu_b = \frac{OP}{OP'} = \frac{\text{ফলকের প্রকৃত গভীরতা}}{\text{ফলকের আপাত গভীরতা}} = \frac{u}{v} \; or \; v = \frac{u}{\mu} \; \ldots\ldots(২৫)$$

এখানে u = ঘনতর মাধ্যমের উপরিতল হইতে P বস্তুর দূরত্ব, v = উপরিতল হইতে P' প্রতিবিম্বের দূরত্ব। $\mu >$ ১ এখানে সেইজন্য $v < u$ অর্থাৎ প্রতিবিম্বকে প্রতিসরণ তলের বেশী কাছে মনে হইবে।

দ্রষ্টব্য ঃ—(১) ২৫ নং সমীকরণ হইতে বোঝা যায় যে অনুবীক্ষণ যন্ত্র দ্বারা কোন স্বচ্ছ তরল বা কঠিন মাধ্যমের উপরিতল হইতে কোন বস্তুর দূরত্ব ও উহার প্রতিবিম্বের দূরত্ব মাপিলে মাধ্যমের μ বাহির করা যায় (৭৭নং অনুচ্ছেদ দেখ)

(২) উপরোক্ত সমীকরণ সত্য হয় যখন রশ্মিগুলি O বিন্দুর কাছে থাকে।

(খ) লঘুতর মাধ্যমে স্থাপিত বস্তু ঘনতর মাধ্যম হইতে দৃষ্ট ঃ

মনে কর লঘুতর *a* মাধ্যমে অবস্থিত কোন বস্তু P হইতে কোন রশ্মি PO অভিলম্ব ভাবে O বিন্দুতে আপতিত হইয়া অভিলম্ব-ভাবে *b* মাধ্যমে OA পথে প্রতিসৃত হয়। P হইতে একটু তির্যক PO_1 রশ্মি O বিন্দুর নিকটে O_1 বিন্দুতে আপতিত হইয়া O_1A' পথে প্রতিসৃত হয়। O_1 বিন্দুতে NO_1N' অভিলম্ব টান। দুইটি প্রতিসৃত রশ্মিকে পশ্চাৎ দিকে বাড়াইলে উহারা P'তে মিশিবে। P' হইল P-এর অসদ প্রতিবিম্ব। সুতরাং *b* মাধ্যমে চোখ রাখিলে Pকে উপরে P'তে দেখা যাইবে। যদি *b* মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক μ হয় তবে

৬৩নং চিত্র

$$\mu=\frac{\sin PO_1N}{\sin A'O_1N'}=\frac{\sin O'PO}{\sin O'P'O}=\frac{O'O}{O_1P}\div\frac{O'O}{O'P'}=\frac{O'P'}{O'P}$$

P হইতে নির্গত রশ্মিগুচ্ছ ক্ষুদ্র ধরা হইয়াছে, অর্থাৎ Oএর খুব নিকটে O_1 অবস্থিত নচেৎ সমগ্র রশ্মিগুচ্ছ চোখে পড়িবে না। সুতরাং O'P' ও O'P মোটামুটি যথাক্রমে OP' ও OPর সমান। $OP=u$, $OP'=v$ ধরিলে

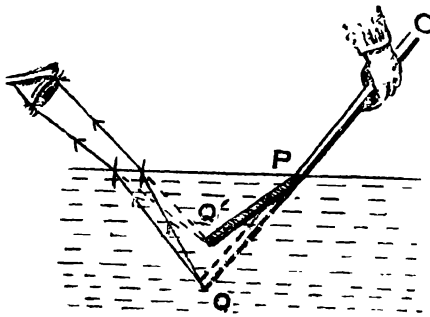
$${}_a\mu_b=\frac{OP'}{OP}=\frac{v}{u}\quad\therefore\ v=\mu\times u\cdots\cdots(২৬)$$

$\mu>1 \quad \therefore v>u \quad \therefore$ প্রতিসরণতল হইতে প্রতিবিম্ব বেশী দূরে হইবে।

(গ) জলে নিমজ্জিত বস্তু হইতে প্রতিসরণ ঃ জল বায়ু অপেক্ষা ঘনতর মাধ্যম। ঘনতর মাধ্যমের কোন বস্তুর বিভিন্ন বিন্দু হইতে আলোক রশ্মি বায়ু

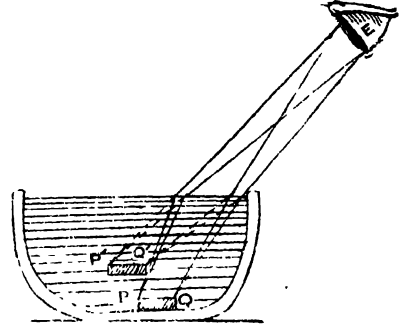
মাধ্যমে প্রতিসৃত হইয়া অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যায়। ইহাতে বস্তুটি উপরে উঠে মনে হয়। ৬৩ নং চিত্রে P বিন্দু P′ বিন্দুতে উঠিয়া আসে মনে হয়। P যদি পরিষ্কার জলের পুকুরের বা নদীর তলায় থাকে তবে উপর হইতে ঠিক সোজা (vertically) পুকুরের মধ্যে তাকাইলে পুকুরের বা নদীর তল উপরে উঠিয়াছে মনে হয় অর্থাৎ পুকুর বা নদীকে কম গভীর মনে হয়। জল μ বায়ু $= \frac{4}{3}$ সেইজন্য জলের তলার বস্তুকে প্রকৃত গভীরতার $\frac{3}{4}$ অংশ উপরে দেখা যাইবে। যদি পুকুর ১২ ফুট গভীর হয় তবে ইহা ৯ ফুট গভীর মনে হইবে। একই কারণে কাচ ফলকের নীচে দাগ দিলে দাগটা উপরে উঠিয়াছে মনে হইবে।

কতকগুলি দৃষ্টান্ত ঃ—

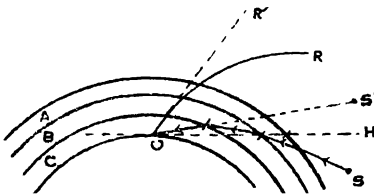
(১) **জলে নিমজ্জিত দণ্ড ঃ** মনে কর সরল OQ দণ্ড তির্যকভাবে জলে ডুবান হইয়াছে। উপর হইতে দেখিলে জলে নিমজ্জিত অংশ PQকে ক্ষুদ্রতর ও উপরে উঠিয়াছে মনে হইবে। নিমজ্জিত অংশের Q বিন্দু লম্বভাবে উপরে Q′ উঠে মনে হয়। সেইজন্য নিমজ্জিত অংশকে সোজা দেখাইলেও উহা ক্ষুদ্রতর হয় এবং উপরে উঠিয়াছে এবং Pতে বাঁকিয়া গিয়াছে মনে হয়। যদি দণ্ডকে সোজা-

৬৫নং চিত্র

ভাবে জলে ডুবান যায় তবে উহাকে বাঁকা দেখাইবে না বটে কিন্তু নিমজ্জিত অংশ প্রকৃত দৈর্ঘ্যের $\frac{3}{4}$ ভাগ মনে হইবে। আবার কোন নিমজ্জিত বস্তুকে যত তির্যকভাবে দেখা যাইবে ততই উহা উপরের দিকে উঠিয়াছে মনে হইবে। একই কারণে জলপূর্ণ চৌবাচ্চার একধারে দাঁড়াইলে কাছের জলকে যত গভীর দেখাইবে দূরের জলকে তার চেয়ে কম গভীর দেখাইবে।

(২) **জলে নিমজ্জিত মুদ্রা ঃ** একটি খালি অস্বচ্ছ পার্শ্ব বিশিষ্ট পাত্রে একটি চকচকে মুদ্রা PQ রাখ। পাত্রটি ধীরে ধীরে এমন স্থানে সরাইয়া

লও যে মুদ্রাটি সবে চোখের আড়াল হয়। মুদ্রা হইতে কোন রশ্মি তোমার চোখে আসে না। এই অবস্থায় স্থির থাকিয়া পাত্রে জল ঢালিলে মুদ্রার প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইবে। এখন PQ মুদ্রা হইতে রশ্মি জলের উপরতলে আপতিত হইয়া অভিলম্ব হইতে দূরে বাঁকিয়া প্রতিসৃত হয় এবং চোখে P′Q′ হইতে আসে মনে হয় কাজেই মুদ্রাটি উপরে উঠে মনে হয়। ইহা পুনরায় দৃষ্টি গোচর হয়। PQএর প্রতিবিম্ব হইল P′Q′

৬৬নং চিত্র

(ঘ) বায়ুমণ্ডলীয় প্রতিসরণ

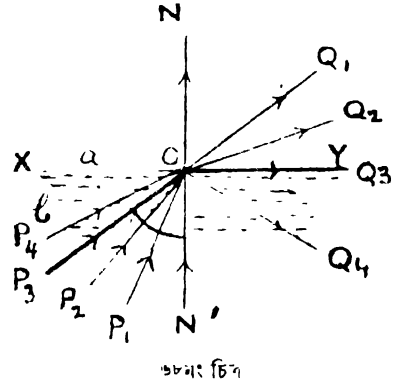
(Atmospheric Refraction): সমুদ্রতল হইতে যতই ঊর্ধ্বে উঠা যায় ততই বায়ুমণ্ডলের ঘনাঙ্ক কমিয়া যায় এবং কোন বস্তুর ঘনাঙ্ক কমিলে প্রতিসরাঙ্ক কমিয়া যায়। সুতরাং উপরে যতই উঠা যায় ততই বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তরের প্রতিসরাঙ্ক কমিয়া যায়। এই কারণে আকাশের নক্ষত্রাদি জ্যোতিষ্ক হইতে নির্গত আলো পৃথিবীতে আসিবার সময় লঘুতর হইতে ক্রমশঃ ঘনতর মাধ্যমে প্রবেশ করে। সুতরাং আলোক রশ্মি সোজা পথে না আসিয়া প্রত্যেক স্তরে প্রতিসরণের জন্য অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া যায়। পৃথিবীতে কোন দর্শক জ্যোতিষ্ককে প্রতিসৃত রশ্মির পথে আকাশে উঁচু জায়গায় দেখিবে। মনে কর পৃথিবীপৃষ্ঠে O বিন্দু হইতে OH ক্ষিতিজ-রেখা (line of horizon) এবং S সূর্য ক্ষিতিজের নীচে আছে। S হইতে SO রশ্মি প্রত্যেক স্তরে প্রতিসৃত হইয়া Oতে পৌছায় এবং মনে হয় S′O পথে আসে। ইহাতে সূর্যকে S হইতে লম্বভাবে উপরে অবস্থিত S′তে

৬৭নং চিত্র

দেখা যাইবে। এই কারণে সূর্য বা চন্দ্র উদিত হইবার একটু পূর্বে এবং অস্ত যাইবার একটু পরেও দেখা যাইবে। সূর্য বা চন্দ্র যখন ক্ষিতিজের নিকটে থাকে তখন সূর্য বা চন্দ্রের উপর প্রান্ত হইতে নির্গত রশ্মি অপেক্ষা নিম্ন প্রান্ত হইতে নির্গত রশ্মি অধিক বায়ু স্তর অতিক্রম করিয়া আসে বলিয়া বেশী প্রতিসৃত হয়। সেইজন্য ইহাদের নিম্ন অংশ বেশী উচুতে দেখা যায় ফলে সূর্যের বা চন্দ্রের লম্ব (vertical) ব্যাস ছোট দেখায় কিন্তু অনুভূমিক ব্যাসের দুই প্রান্ত একইভাবে উপরে উঠিতে দেখা যায়। সুতরাং অনুভূমিক (horizontal) ব্যাস দৈর্ঘ্যে একই থাকে। ফলে ক্ষিতিজের নিকটে সমস্ত সূর্য বা চন্দ্রকে চ্যাপ্টা দেখায়।

৭০। **তারার ঝিকিমিকি** (Twinkling of stars): কোন উত্তপ্ত বস্তুর (যেমন আগুনের) উপরকার বায়ুর ঘনাঙ্ক অনবরতঃ পরিবর্তিত হয়। কাজেই এইরূপ বায়ুস্তরের মধ্য দিয়া দূরে কোন বস্তু দেখিলে বস্তুকে কম্পমান মনে হয়।

নানা কারণে বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা ও সঙ্গে সঙ্গে ঘনাঙ্ক পরিবর্তিত হয়। সুতরাং জ্যোতিষ্ক হইতে আগত আলোক রশ্মির পথ ক্ষণে ক্ষণে বদলায়। সেইজন্য খুব দূরের নক্ষত্র হইতে আগত রশ্মির দীপনমাত্রা ক্ষণে ক্ষণে কমে বা বাড়ে। কোন দর্শকের চোখে নক্ষত্রকে একবার বেশী উজ্জল একবার কম উজ্জল দেখায়। ইহাকে তারার **ঝিকিমিকি** বলে। গ্রহগুলি পৃথিবীর নিকটে থাকে বলিয়া উজ্জ্বলতার কমি-বেশী বোঝা যায় না।

৭১। **প্রতিসরণের অন্যান্য দৃষ্টান্ত ঃ** (ক) কাচের ন্যায় বর্ণহীন স্বচ্ছ কঠিনকে একই প্রতিসরাঙ্ক বিশিষ্ট তরলে রাখিলে কঠিনের তলে আলোক রশ্মির প্রতিফলন বা প্রতিসরণ হয় না, ফলে কঠিনকে দেখা যায় না। কাচের ও গ্লিসারিণের প্রতিসরাঙ্ক এক। একটি কাচদণ্ডের উপর লৌহবল রাখিয়া দণ্ডকে গ্লিসারিণে নিমজ্জিত করিলে লৌহবল গ্লিসারিণে ভাসিতেছে মনে হইবে। কাচদণ্ডকে দেখা যাইবে না। (খ) কাচ সাধারণতঃ অস্বচ্ছ কিন্তু কাচের অসংখ্য গুড়া হইতে আলো প্রতিফলিত হয় বলিয়া গুড়া কাচ অস্বচ্ছ ও সাদা দেখায়। কাচের গুড়ায় জল ঢালিলে আলোকের প্রতিসরণের জন্য গুড়াগুলিকে স্বচ্ছ দেখায়।

৭২। **আভ্যন্তরীণ পুর্ণ প্রতিফলন** (Total Internal Reflection): যখন আলোক রশ্মি ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে যায় তখন প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে দূরে সরিয়া যায় অর্থাৎ আপতন কোণ অপেক্ষা প্রতিসরণ কোণ বৃহত্তর হয়। মনে কর XOY বায়ু ও কাচ মাধ্যমের স্পর্শতল। O বিন্দুতে NON' অভিলম্ব। P_1O ও P_2O রশ্মিদ্বয় যথাক্রমে OQ_1 ও OQ_2 পথে প্রতিসৃত হয়। আপতন কোণ P_1ON' হইতে P_2ON'তে বাড়ে এবং প্রতিসরণ কোণ NOQ_1 হইতে NOQ_2তে বাড়ে। এইরূপ বাড়িতে বাড়িতে আপতন কোণ একটি নির্দিষ্ট মান P_3ON'এ পৌছিলে প্রতিসৃত রশ্মি OQ_3 ঠিক স্পর্শতল XY ঘেঁসিয়া চলিয়া যায় অর্থাৎ প্রতিসরণ কোণ ৯০° হয়। এই নির্দিষ্ট মানের আপতন কোণকে দুই মাধ্যমের **সংকট** বা **সন্ধি কোণ** বলে। ঘনতর মাধ্যমে আপতন কোণ ৯০° হওয়ার পূর্বেই প্রতিসরণ কোণ ৯০° হয়।

৬৮নং চিত্র

এখন আপতন কোণকে P_4ON'তে বাড়াইলে P_4O আপতিত রশ্মির লঘুতর মাধ্যমে কোন আনুসঙ্গিক প্রতিসৃত রশ্মি পাওয়া যায় না। কারণ এমন প্রতিসৃত রশ্মি পাওয়া অসম্ভব যাহা OQ_3 রশ্মির চেয়ে অভিলম্বের সহিত বেশী কোণ উৎপন্ন করে। P_4O রশ্মি XY তলে আপতিত হইলে উহার কোন অংশই লঘুতর মাধ্যমে প্রতিসৃত হয় না। উহার প্রায় সবটা OQ_4 পথে প্রতিফলনের নিয়মানুসারে ঘনতর মাধ্যমেই পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হয়। যখন ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে আলোক রশ্মি যায় তখন সঙ্কট কোণ অপেক্ষা আপতন কোণের সামান্য বৃদ্ধিতে আপতিত রশ্মির প্রায় সবটাই ঘনতর মাধ্যমেই পূর্ণ ভাবে প্রতিফলিত হয়। এই ঘটনাকে **আভ্যন্তরীণ পুর্ণ প্রতিফলন** বলে। P_3OX কোণের মধ্যে যে কোন রশ্মি আপতিত হইলে তাহার পূর্ণ প্রতিফলন হয়।

মনে রাখিবে যতক্ষণ আপতন কোণ সংকট কোণ অপেক্ষা কম থাকে ততক্ষণ আপতিত রশ্মি প্রতিফলিত, প্রতিসৃত ও শোষিত হয়, যদিও প্রতিসৃত রশ্মি বেশী উজ্জ্বল হয়। আপতন কোণ সংকট কোণ অপেক্ষা বেশী হইলে আপতিত রশ্মির কোন অংশই প্রতিসৃত হয় না। সামান্য শোষণ ব্যতীত সবটাই প্রতিফলিত হয়।

পূর্ণ প্রতিফলনের সর্ত : (ক) যখন আলোক রশ্মি **ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে যায়** তখনই পূর্ণ প্রতিফলন সম্ভব। (খ) **আপতন কোণ** সংকট কোণ অপেক্ষা **বৃহত্তর** হওয়া চাই।

৭৩। **সংকট কোণ** (Critical Angle) : যখন কোন আলোক রশ্মি ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে এমনভাবে যায় যে প্রতিফলন কোণ ৯০° হয় অর্থাৎ প্রতিসৃত রশ্মি XY স্পর্শতল (surface of separation) ঘেঁসিয়া যায় সেই অবস্থায় ঘন মাধ্যমে আপতন কোণকে দুই মাধ্যমের **সংকট কোণ** বলে।

যদি সংকট কোণ $=\theta=$ ঘন মাধ্যমে আপতন কোণ হয় এবং ঘনতর মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক $=\mu$ হয় তবে লঘুতর মাধ্যমে আনুসঙ্গিক প্রতিসরণ কোণ ৯০° হইবে এবং প্রতিসরাঙ্কের সংগানুসারে

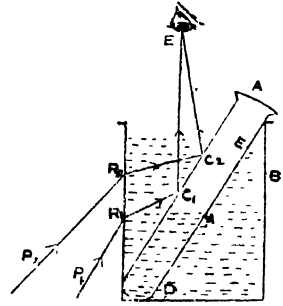
$$\frac{1}{\mu}=\frac{\sin\theta}{\sin 90^\circ} \quad \therefore \quad \sin\theta=\frac{1}{\mu} \text{ বা } \mu=\frac{1}{\sin\theta} \cdots\cdots\cdots(২৭)$$

μ জানা থাকিলে সংকট কোণ বাহির করা যায় কিংবা সংকট কোণ জানা থাকিলে μ বাহির করা যায়। (পরে দেখ)

অঙ্ক : (১) জলের $\mu=\frac{4}{3}$। $\therefore$ যদি জলের সংকট কোণ θ হয় তবে $\sin\theta=\frac{3}{4}$ $\therefore$ $\theta=$ ৪৮°৩৬′। (২) বেনজিনের $\mu=$ ১.৫ $\therefore \sin\theta=\frac{১}{১.৫}$ $=\frac{2}{3}=$.৬৬৬৬. log তালিকা হইতে পাই $\sin$ ৪১°৪৮′ = .৬৬৬৫ $\therefore$ $\theta=$ ৪১°৪৮′ (C. U. 1946)

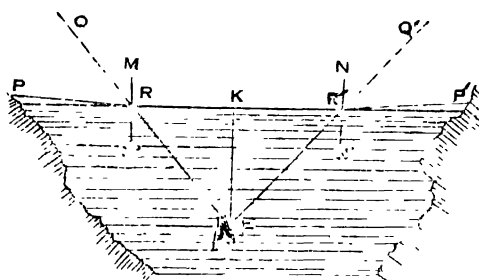
৭৪। **কতকগুলি দ্রব্যের সংকট কোণ ঃ** হীরক—২৪·২৫°। চুনী—৩৫·৫০°, কাচ—৪১·৩০°, জল—৪৮·৪৫°, তার্পিণ—৪৩·১১°, কারবন-ডাইসালফাইড—৩৭·৫০°.

৭৫। **পূর্ণ প্রতিফলনের দৃষ্টান্তঃ** (১) একটি খালি পরীক্ষা নল Aকে অপর একটি জলপূর্ণ পাত্র Bতে তির্যকভাবে ডুবাইয়া রাখ যাহাতে উহার বদ্ধ প্রান্ত D নীচের দিকে থাকে। উপর হইতে নলটিকে দেখ। জলে নলের নিমজ্জিত অংশ খুব উজ্জ্বল দেখায় কারণ আলোক রশ্মি R_1C_1 পাত্রের ঘনতর মাধ্যম জল হইতে নলের ভিতরের লঘুতর মাধ্যম বায়ুর স্পর্শতলে সংকোট কোণের (৪৮·৩৬°) বেশী কোণে আপতিত হইয়া জলেই পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হইয়া C_1E পথে চোখে পড়ে। নলে জল ঢালিলে নলের ভিতরকার মাধ্যম বায়ু হইতে জলে পরিবর্তিত হয় সেইজন্য আপতিত রশ্মির পূর্ণ প্রতিফলন সম্ভব হয় না। নলের ঔজ্জ্বল্য অদৃশ্য হয়।

৩৯নং চিত্র

(২) জলপূর্ণ কাচের গ্লাস চোখের উপরে ধর। জলের উপর ভাগকে আলোক রশ্মির পূর্ণ প্রতিফলনের জন্য খুব উজ্জ্বল দেখায়।

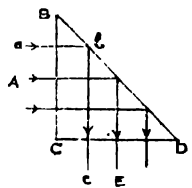
(৩) ভুষোকালি মাখান লোহার বলকে জলে ডুবাইয়া ধর। বলের উপরতল কালি মাখান হইলেও উজ্জ্বল দেখাইবে। কেন? বলের উপরভাগ ও জলের মধ্যে বায়ুর একটি পাতলা স্তর থাকে। জল হইতে এই বায়ুতে আলোক রশ্মির পূর্ণ প্রতিফলনে বলটিকে উজ্জ্বল দেখায়। এই কারণেই জলের মধ্যে বাতাসের বুদ্ বুদ্ উঠিলে বুদ্ বুদ্গুলিকে উজ্জ্বল দেখায়। স্বচ্ছ পদার্থের মধ্যে ফাটল থাকিলে এই কারণে উজ্জ্বল দেখায়।

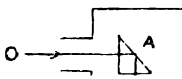
(৪) জলের মধ্যে E চোখ রাখিলে বাহিরের সমস্ত দ্রব্য Q'EQ শঙ্কুর মধ্যে দেখা যায় এবং ∠Q'EQ = ২ × সংকট কোণ = ২ × ৪৮·৪৫°। মনে কর বাহিরের দুই প্রান্তের দুইটি বস্তু P ও P' হইতে দুইটি রশ্মি PR ও P'R' জল মাধ্যমের

উপরতল ঘেষিয়া জলের মধ্যে প্রতিসৃত হইয়া RE ও R'E পথে চোখে যায়। ∴ P ও P'এর প্রতিবিম্ব Q ও Q'তে দেখা যায়। ∴ ∠N'R'E = সংকোট কোণ = ∠R'EK এবং ∠M'RE = সংকোট কোণ = ∠REK ∴ ∠QEQ' = 2 × সংকট কোণ। P ও P'এর মধ্যবর্তি জলের উপরকার সমস্ত বস্তুর প্রতিবিম্ব Q ও Q'এর মধ্যে দেখা যাইবে। পূর্ণ প্রতিফলনের জন্য জলের ভিতরকার সমস্ত বস্তুর প্রতিবিম্ব আলোক রশ্মির চোখ এই শঙ্কুর ভিতরে দেখিতে পাইবে। সুতরাং জলতল সমতল দর্পণের ন্যায় কাজ করে।

৭০নং চিত্র

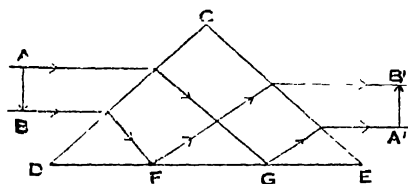
(৫) চুণী প্রভৃতি অনেক মূল্যবান পাথরের ও হীরার উজ্জ্বল্য পূর্ণ প্রতিফলনের উপর নির্ভর করে। এই সকল দ্রব্যের μ খুব বেশী সুতরাং সংকট কোণ খুব কম। সেইজন্য আলোক রশ্মি হীরকের যে কোন কর্তিত তলে (cut faces হীরকের তলকে 'পল' বলে) প্রবেশ করিবে। এই আলোক রশ্মির পুনঃ পুনঃ বিভিন্ন পলে পূণ প্রতিফলন হইতে থাকে এবং পলগুলি খুব উজ্জ্বল দেখায়।

(৬) **পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম** (Totally Reflecting Prism) :— তিনটি তল দ্বারা আবদ্ধ মাধ্যমকে **প্রিজম** বলে। মনে কর BCD একটি সমকৌণিক সমদ্বিবাহু (right angled isosceles) প্রিজম। একটি সমান্তরাল A রশ্মিগুচ্ছ প্রিজমের BC তলে অভিলম্বভাবে আপতিত হইয়া দিক পরিবর্তন না করিয়া প্রতিসৃত হয় এবং অতিভুজ (hypotenuse) BDতে ৪৫° ডিগ্রি কোণে পড়ে। ইহা কাচের সংকট কোণ (৪২°) অপেক্ষা বেশী। সুতরাং এই রশ্মিগুচ্ছ BD তলে পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হইয়া CD তল দিয়া সোজা চলিয়া যায়। এই প্রিজমে আপতিত সমস্ত আলোকরশ্মি BD তলে পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হয় বলিয়া এই প্রিজমকে পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম বলে। এই প্রিজমে আপতিত

রশ্মি ও প্রতিসৃত রশ্মির মধ্যে ৯০° ডিগ্রী কোণ থাকে এবং আপতিত রশ্মিগুচ্ছের চ্যুতি ($\angle abc$)=৯০° হয় অর্থাৎ ইহা আপতিত রশ্মিপথের সহিত ৪৫°তে আনত সমতল দর্পণের ন্যায় কাজ করে। কিন্তু সমতল দর্পণ অপেক্ষা ইহার ব্যবহারে নিম্নলিখিত সুবিধা আছে :—(ক) সমতল দর্পণের দুইতলে—সম্মুখের কাচ তলে ও পশ্চাতের ধাতব প্রলেপ তলে (silvered surface)—প্রতিফলনের জন্য দুইটি প্রতিবিম্ব দেখা যায়। আলোক রশ্মি দুইটি প্রতিবিম্বে ভাগ হওয়ার দরুণ এবং সম্মুখতলে আলোকরশ্মি আংশিক ভাবে বিক্ষিপ্ত হওয়ার দরুণ কোণ প্রতিবিম্বই উজ্জ্বল হয় না। প্রিজমে পূর্ণ প্রতি ফলনের জন্য মাত্র একটি প্রতিবিম্ব হয়। সেইজন্য প্রতিবিম্ব খুব উজ্জ্বল হয়। (খ) সমতল দর্পণে সম্মুখতলে ধাতব প্রলেপ দেওয়া যাইতে পারে কিন্তু ইহাতে প্রলেপ শীঘ্রই অপরিষ্কার হইয়া যায়। কিন্তু প্রিজম অপরিষ্কার হয় না। (৬৮·২% তামা ও ৩১·৪% টিন মিশ্রিত প্রলেপ শীঘ্রই নষ্ট হয় না।) এইরূপ প্রিজম পেরিস্কোপ নির্মাণে দরকার হয়।

৭১নং চিত্র

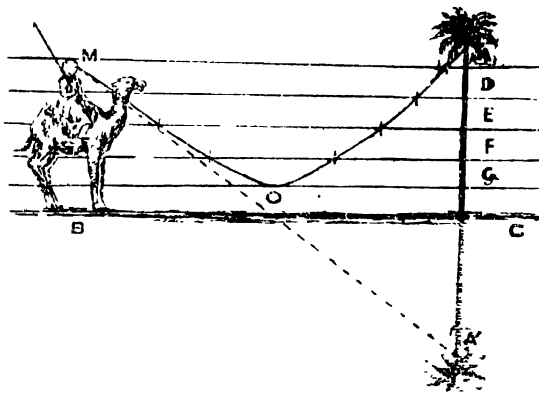
পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজমের সর্ত হইল B ও Dতে কোণ দ্বয় সমান হইবে এবং প্রত্যেকে কাচের সংকট কোণ ৪১°৪৫' অপেক্ষা বেশী হইবে।

(৭) প্রিজম পেরিস্কোপ (Prism Periscope) : এই যন্ত্রে উপরে A ও নীচে B দুইটি পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম্ থাকে। ইহাদের মধ্যে কতকগুলি লেন্স থাকে। দূরের কোন বস্তু O হইতে আলোকরশ্মি A প্রিজমের মধ্যে ঢুকিয়া অতিভুজ হইতে পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হইয়া লেন্সের মধ্য দিয়া B প্রিজমে ঢুকিয়া অতিভুজ হইতে পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হইয়া M দর্শকের চোখে ঢোকে। সুতরাং দর্শক বহুদূরের বস্তুর বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব দেখিতে পায়।

৭২নং চিত্র

(৮) **Erecting প্রিজম** ঃ অভিক্ষেপ ল্যাণ্টার্ণ (Projection Lantern) যন্ত্রে লেন্স দ্বারা উল্টা প্রতিবিম্ব উৎপন্ন হয় কিন্তু পর্দার ও লেন্সের মধ্যে একটি পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজমকে অতিভুজের উপর বসাইয়া রাখিলে পর্দায় সোজা (erect) প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়। মনে কর AB কোন দ্রব্যের লেন্স দ্বারা উৎপন্ন উল্টা প্রতিবিম্ব। ইহার সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন বিন্দু A ও B হইতে দুই রশ্মি DEর সমান্তরালে আসিয়া CD তলে আপতিত ও প্রতিসৃত হইয়া DE তলে F ও G বিন্দুতে সংকট কোণের অপেক্ষা বৃহত্তর কোণে আপতিত হইয়া সেখান হইতে পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হয়। প্রতিফলিত রশ্মিদ্বয় CE তৃতীয় তলে পুনরায় প্রতিসৃত হইয়া DEএর সমান্তরালে চলিয়া যায় এবং পর্দায় সোজা প্রতিবিম্ব B′A′ উৎপন্ন করে। লক্ষ্য করিবে F ও G বিন্দুতে পূর্ণ প্রতিফলনের সময়েই রশ্মিগুলির পারস্পরিক অবস্থান পরিবর্তিত হইয়া যায়। সেইজন্য উল্টা প্রতিবিম্ব আবার সোজা হয়। এই কারণে এই প্রিজমকে প্রতিবিম্ব সোজা করিবার (Erecting) প্রিজম বলে।

৭৩নং চিত্র

(৯) **মজার খেলা** ঃ—সমান্তরাল পার্শ্ববিশিষ্ট একটি জলপূর্ণ পাত্র হইতে একটু দূরে একটি আলো রাখ। সমান্তরাল তল বিশিষ্ট অপর একটি ছোট খালি চওড়া কাচ পাত্র জলে খাড়াভাবে ডুবাও। কাচ পাত্রের মধ্য দিয়া অপর দিকে আলো দেখা যায়। লম্ব অক্ষ বরাবর কাচপাত্রকে ঘুরাইতে থাক। কাচ পাত্রের ভিতরে বায়ুতে আলোক রশ্মির আপতন কোণ বাড়িতে বাড়িতে যখন সংকট কোণের মানে পৌছিবে তখন অপর দিকের আলো দেখা যাইবে না। কাচ পাত্রকে ঘুরাইতে থাকিলে দুইটি অবস্থানে অপর দিকের আলো দেখা যাইবে না। যদি একটি অংশাঙ্কিত বৃত্ত (graduated circle) কাচপাত্রের সঙ্গে জোড়া থাকে তবে দুইটি অবস্থানের মধ্যস্থিত কোণ মাপা যায়। এই কোণের অর্ধেক কোণ জলের ও বায়ুর সংকট কোণ হইবে। ৭৭ (৭) নং অনুচ্ছেদ দেখ।

(১০) **মরীচিকা** (Mirage) :—মরীচিকা পূর্ণ প্রতিফলনের প্রাকৃতিক দৃষ্টান্ত। বিস্তৃত খুব উষ্ণ অঞ্চলে (যথা মরুভূমি) কিংবা খুব শীতল অঞ্চলে দূরের কোন বস্তু যে দৃষ্টি-বিভ্রম (optical illusion) জন্মায় যাহার ফলে বস্তুর একটি উল্‌টা প্রতিবিম্ব দেখা যায় তাহাকে **মরীচিকা** বলে।

উষ্ণ অঞ্চলে মরীচিকা :—দিনের বেলায় মরুভূমিতে বালুকাস্তর সূর্য্যতাপে খুব উত্তপ্ত হয় এবং তৎসংস্পর্শে বায়ুমণ্ডলের নিম্নস্তরও খুব উত্তপ্ত ও হাল্‌কা হয়। যতই উপরে উঠা যায় ততই বায়ুমণ্ডলের নিম্নস্তর হইতে উপরের স্তরের উষ্ণতা কমিতে থাকে এবং ঘনাঙ্ক ও প্রতিসরাঙ্ক বাড়িতে থাকে অর্থাৎ উপর হইতে নীচের দিকের স্তরগুলি ক্রমশঃ লঘুতর হয়। মরুভূমিতে কোন দূরবর্তি খেজুর

২৪নং চিত্র

গাছের A বিন্দু হইতে একটি বিক্ষিপ্ত (diffused) আলোক রশ্মি তির্যকভাবে, নীচের দিকে নামিতে থাকিলে পর পর ঘনতর হইতে লঘুতর স্তর (D, E, F, G) অতিক্রম করে এবং নিম্নগামী রশ্মি প্রত্যেক স্তরে প্রতিসরণের সময়ে ক্রমশঃ **অভিলম্ব হইতে দূরে** বাঁকিতে থাকে। ফলে পর পর এক স্তর হইতে পরবর্তি নিম্নস্তরে রশ্মি ঢুকিবার সময়ে প্রত্যেক স্তরেই আপতন কোণ ক্রমশঃই বাড়িতে থাকে যতক্ষণ না কোন একটি স্তরে (যেমন OG স্তরে) আপতন কোণ সেই স্তরের

ও পরবর্তি নিম্নস্তরের সংকট কোণ অপেক্ষা বৃহত্তর হয়। এই স্তরেই রশ্মির পূর্ণ প্রতিফলন হইয়া রশ্মি উপর দিকে উঠিতে থাকে এবং রশ্মি পর পর লঘুতর হইতে ঘনতর স্তর অতিক্রম করে সুতরাং ঊর্ধ্বগামী রশ্মি প্রত্যেক স্তরে প্রতিসরণের সময় **ক্রমশঃ অভিলম্বের দিকে** বাঁকিতে থাকে। যখন এই রশ্মি কোন মরুভূমির কোন পথিকের চোখে পৌঁছায় তখন শেষ যে রেখায় রশ্মি তাঁহার চোখে পড়ে পথিক সেই রেখার পশ্চাতে বর্দ্ধিত অংশের (MA′) অভিমুখে বালির নীচে গাছের একটি **অসদ্ উলটা** প্রতিবিম্ব A′ দেখিতে পায়। A হইতে M পর্যন্ত রশ্মির পথ একটা অধিবৃত্ত (parabola) হয়। কিন্তু চক্ষু রশ্মির এই বক্র-পথ বুঝিতে পারে না।

উষ্ণ বায়ুর ঊর্ধ্বগামী পরিচলন স্রোত দ্বারা বিভিন্ন বায়ুর স্তরের ঘনাঙ্ক ও প্রতিসরাঙ্ক প্রতি মুহূর্তে পরিবর্তিত হয়। সেইজন্য পথিক উলটা A′ প্রতিবিম্বকে স্থির দেখেন না। বায়ু-আন্দোলিত জলে তীরবর্তি গাছের প্রতিবিম্ব পড়িলে যেমন প্রতিবিম্ব কাঁপিতে থাকে ও প্রতিবিম্ব উলটা হয় সেইরূপ তৃষ্ণার্ত পথিক গাছের কম্পমান ও উলটা প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইয়া মনে করে দূরে জলাশয় আছে এবং সেই দিকে জলের আশায় অগ্রসর হইলে ঐ গাছ হইতে আগত রশ্মি আর পথিকের চোখে পৌঁছায় না আরও দূরে অবস্থিত কোন গাছ হইতে পূর্ণ প্রতিফলিত রশ্মি চোখে পৌঁছায়। পথিক অগ্রসর হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে কাল্পনিক জলাশয়ও দূরে দূরে সরিয়া যায়। পথিকের জল আর মেলে না।

শীতল অঞ্চলে মরীচিকা ঃ—শীতল অঞ্চলে উপর হইতে নীচের দিকে পর পর বায়ুস্তরের উষ্ণতা কমিতে থাকে, ঘনাঙ্ক ও প্রতিসরাঙ্ক বাড়িতে থাকে। কোন দূরের বস্তু হইতে ঊর্ধ্বগামী আলোক রশ্মি **অভিলম্ব হইতে** ক্রমশঃ দূরে বাঁকিয়া যাইতে যাইতে কোন স্তর হইতে পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হয়। এই প্রতিফলিত রশ্মি নিম্নগামী রশ্মি অপেক্ষা ক্রমশঃ **অভিলম্বের দিকে** বাঁকিয়া যাইতে যাইতে শেষে দর্শকের চোখে ঢোকে। দর্শক বায়ুতে বিলম্বিত একটি উল্টা প্রতিবিম্ব দেখিতে পায়।

৭৬। **প্রতিসরাঙ্ক ও সংকট কোণ নির্ণয়** (Determination of Refractive Index μ and critical angle) :

নীতি : $a\,\mu\,b = \dfrac{b \text{ মাধ্যমের (কঠিনের) প্রকৃত বেধ (thickness)}}{b \text{ মাধ্যমের আপাত বেধ}} = \dfrac{u}{v}$ কিংবা

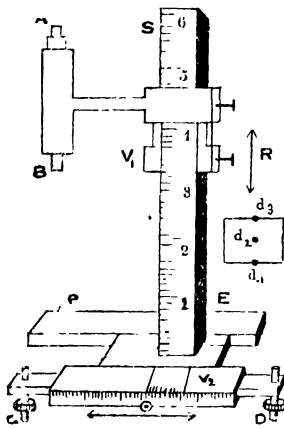
$\dfrac{b \text{ মাধ্যমের (তরলের) প্রকৃত গভীরতা}}{b \text{ মাধ্যমের আপাত গভীরতা}} = \dfrac{u}{v}$ (যেখানে u = ঘনতর মাধ্যমের তল হইতে বস্তুর দূরত্ব ও v = প্রতিবিম্বের দূরত্ব)। কঠিন বা তরলের একধারে অবস্থিত কোন বস্তুর ও তাহার প্রতিবিম্বের দূরত্ব মাপিয়া μ বাহির করা যায়। μ হইতে সংকট কোণ বাহির করা যায় কারণ $\mu = \dfrac{1}{\sin\theta}$

(ক) **কঠিনের প্রতিসরাঙ্ক: পরীক্ষা:** (১) **পিন দ্বারা**—৬৩নং চিত্রের মত একটি কাচ-ফলক EF কাগজের উপর রাখ। ফলকের গা ঘেষিয়া একটি পিন P পোত। একটি বন্ধনীতে একটি বড় পিন লম্বভাবে আটকাও। বন্ধনীকে ফলকের পার্শ্বে এমনভাবে রাখ যাহাতে বড় পিন ঠিক ফলকের উপর আসে। বড় পিনকে এদিক-ওদিক সরাইয়া এমন জায়গায় লইয়া আন যে ফলকের মধ্যে P পিনের প্রতিবিম্বকেও ফলকের উপর বড় পিনকে এক রেখায় দেখা যায় এবং ইহাদের মধ্যে কোন লম্বন (parallax) না থাকে।

P পিনের সোজাসুজি বিপরীত দিকে ফলকের গা ঘেষিয়া O পিন পোত। ফলক তুলিয়া বসাও। OP যোগ কর। বড় পিন হইতে লম্বভাবে অঙ্কিত রেখা যেখানে কাগজ স্পর্শ করে সেখানে P′ লেখ।

এখন $a\,\mu\,b = \dfrac{\text{কাচ-ফলকের প্রকৃত বেধ}}{\text{আপাত বেধ}} = \dfrac{OP}{OP'}$ ......(২৮)

(২) **ভ্রাম্যমাণ অণুবীক্ষণ** (Travelling Microscope) **দ্বারা :** **যন্ত্র**—AB অণুবীক্ষণ যন্ত্রে A হইল অভিনেত্র (eye-piece) এবং B হইল বস্তু দেখিবার লেন্স বা অভিলক্ষ্য (object glass)। AB অণুবীক্ষণ একটি লম্ব (vertical) স্কেল S বরাবর উপর-নীচে সরিতে পারে। স্কেলটি একটি E পাটাতনের সহিত যুক্ত থাকে। সূক্ষ্মভাবে দূরত্ব মাপিবার জন্য স্কেলের সঙ্গে ভার্নিয়ার V_1 জোড়া থাকে। C, D স্ক্রু ঘুরাইয়া যন্ত্রটিকে অনুভূমিক করা যায়।

পরীক্ষা ঃ এক টুক্‌রা কাগজে একটি পেন্সিলের দাগ P দাও। পাটাতনের উপর কাগজ আঁটিয়া অণুবীক্ষণ যন্ত্রকে উপর-নীচে সরাইয়া এমন জায়গায় আন যেখান হইতে ইহার মধ্য দিয়া দাগটির খুব স্পষ্ট প্রতিবিম্ব দেখা যায়। স্কেল ও ভার্ণিয়ার পঠন লইয়া অবস্থান স্থির কর। মনে কর ইহার প্রথম অবস্থান $=d_1$। এখন কাচ-ফলককে দাগের উপর রাখ। দাগটিকে দেখা যাইবে না। পুনরায় অণুবীক্ষণ যন্ত্রকে উপরে উঠাও, যতক্ষণ দাগের প্রতিবিম্ব স্পষ্টভাবে দেখা না যায়। মনে কর স্কেল ও ভার্ণিয়ারের দ্বিতীয় পঠন $=d_2$। কাচ-ফলকের উপর একটু লাইকো-পোডিয়াম (lycopodium) গুড়া ছড়াইয়া দাও। অণুবীক্ষণ যন্ত্র উঠাইয়া গুড়ার প্রতিবিম্ব স্পষ্টভাবে দেখ। মনে কর স্কেল ও ভার্ণিয়ারের তৃতীয় পঠন $=d_3$। এখন

৭৫নং চিত্র

$$a\mu b = \frac{\text{আসল বেধ}}{\text{আপাত বেধ}} = \frac{d_3-d_1}{d_3-d_2}$$। মনে রাখিবে স্কেলের সংখ্যা নীচে হইতে উপর দিকে বাড়িয়া গিযাছে।

(খ) **তরলের প্রতিসরাঙ্ক—(১) ভ্রাম্যমাণ অণুবীক্ষণ** যন্ত্র দিয়া তরলের μ বাহির করা যায়। একটি চওড়াতল বিশিষ্ট কাচপাত্রের তলার একটি দাগকে প্রথমে দেখ, পাত্রে জল ঢালিয়া দাগটিকে দেখ। পুনরায় জলের উপর লাইকোপোডিয়াম গুড়া ছড়াইয়া অনুবীক্ষণের মধ্য দিয়া গুড়া দেখ। মনে কর তিনবার স্কেলে পঠন $=d_1, d_2, d_3$ $\therefore \mu = \frac{\text{জলের প্রকৃত গভীরতা}}{\text{আপাত গভীরতা}} = \frac{d_3-d_1}{d_3-d_2}$.

(২) **পিন দ্বারা ঃ পরীক্ষা ঃ** একটি দীর্ঘ পাত্র Aর গভীরতা d স্কেল দিয়া নির্ভুলভাবে মাপ। পাত্রের মধ্যে O পিন রাখ। পাত্রকে কানায় কানায় জলপূর্ণ কর। পাত্রের মাথায় একটি দর্পণ B উপরদিকে মুখ করিয়া রাখ। একটি বন্ধনীতে P পিন আট এবং ইহাকে এমন জায়গায় আন যে উপর হইতে দেখিলে

দর্পণে Pএর প্রতিবিম্ব P′ ও জলে নিমজ্জিত O পিনের প্রতিবিম্বের মধ্যে কোন লম্বন দেখা না যায়। এই অবস্থায় P হইতে দর্পণের পশ্চাৎভাগ (silvered surface) মাপ। মনে কর ইহা D. আবার D = BP = BP″ = আপাত গভীরতা। (৭৬নং চিত্র)

৭৬নং চিত্র

$$\mu = \frac{\text{প্রকৃত গভীরতা}}{\text{আপাত গভীরতা}} = \frac{d}{D}.$$

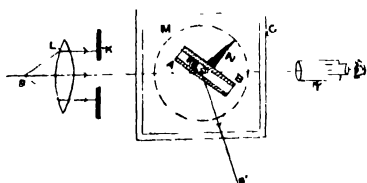
(গ) **পূর্ণ প্রতিফলন দ্বারা : নীতি—** যদি θ সংকট কোণ হয় তবে $\mu = \frac{1}{\sin\theta}$ সুতরাং সংকট কোণ বাহির করিলে μ গণনা করা যায়।

(১) **কঠিনের প্রতিসরাঙ্ক :** অর্ধবৃত্তাকার কাচের CED পাতকে Hartleএর চাকৃতির মাঝখানে এমনভাবে রাখ যে পাতের সমতল মুখ (face) CPD চাকৃতির ৯০°–৯০° ব্যাস বরাবর থাকে এবং 0°–0° ব্যাস পাতের কেন্দ্র Pর মধ্য দিয়া যায়। চাকৃতিকে এমনভাবে ঘুরাইয়া রাখ যে একটি রশ্মিগুচ্ছ পর্দা Sএর M ছিদ্র দিয়া চাকৃতির তল বরাবর আসিয়া পাতের বৃত্তাকার CED তলে F বিন্দুতে আপতিত হয়। এই রশ্মিগুচ্ছ ব্যাসার্ধ বরাবর অভিলম্বভাবে আসে বলিয়া প্রতিসৃত না হইয়া (না বাঁকিয়া) সোজা পাতের সমতল মুখ CPDর P বিন্দুতে আপতিত হয়। চাকৃতিকে ঘোরাও যাহাতে নির্গত রশ্মি PB পাতের সমতল মুখ CPD ঘেঁষিয়া চলিয়া যায়।

৭৭নং চিত্র

$$\angle MPN = \text{সংকট কোণ} \therefore \mu = \frac{1}{\sin M_1PN}.$$

কাচের বদলে অন্য কোন স্বচ্ছ কঠিন পদার্থ লইয়া পরীক্ষা করা যায়

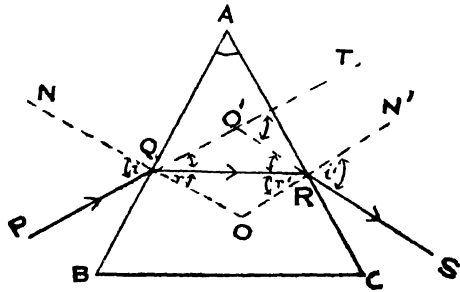
(২) **তরলের প্রতিসরাঙ্ক ঃ পরীক্ষা ঃ** যন্ত্র—A ও B দুই সমান্তরাল কাচ পাতের মধ্যে পাতলা বায়ুস্তর C (a thin film of air) রাখিয়া পাত দুইটির দুই প্রান্তদেশ গালা দিয়া বন্ধ করা আছে। পাত দুইটি একটি লম্ব দণ্ডের সহিত যুক্ত থাকে। পাত দুইটি লম্ব অক্ষের চারিধারে ঘুরিতে পারে। পাত দুইটির সঙ্গে একটি কাঁটা (pointer) N জোড়া আছে। এই কাঁটা একটি বৃত্তাকার অংশাঙ্কিত স্কেল Mর উপর ঘুরিতে পারে। G ঘনকাকার (cubical) কাচ পাত্রে পরীক্ষাধীন তরল থাকে। তরলের মধ্যে যুক্ত পাত দুইটি নিমজ্জিত থাকে। S সোডিয়াম শিখা L লেন্সের প্রধান ফোকসে অবস্থিত। S শিখা হইতে

১৭৮নং চিত্র

আলোক রশ্মি L লেন্সের ও K পর্দার ছিদ্রের মধ্য দিয়া আসিয়া অভিলম্বভাবে পাতের উপর আপতিত হয় এবং পাত্রের অপর দিকের দূরবীক্ষণ (telescope) T দিয়া দেখা যায়। L লেন্সের ফোকস হইতে রশ্মি আসে বলিয়া প্রতিসৃত রশ্মি-গুচ্ছ সমান্তরাল হয়। T দূরবীক্ষণটিও সমান্তরাল রশ্মি দেখিবার জন্য ব্যবস্থিত (adjusted) করা থাকে।

নীতি ঃ (৭৫(৪) অনুচ্ছেদ দেখ)

পরীক্ষা ঃ যখন পাত দুইটি রশ্মিগুচ্ছের উপর অভিলম্বভাবে থাকে তখন কোন দর্শক দূরবীক্ষণে Sএর প্রতিবিম্ব দেখিতে পায়। কিন্তু দণ্ড দিয়া পাত দুইটিকে ঘুরাইতে থাকিলে ইহা এমন অবস্থানে আসিবে যে তরল হইতে বায়ুস্তরে রশ্মির আপতন কোণ সংকট কোণের সমান হয়। ইহার পর পাত দুইটিকে একটু ঘুরাইলে রশ্মির পূর্ণ প্রতিফলন হয়। প্রতিবিম্ব দূরবীক্ষণে অদৃশ্য হয়। এই অবস্থানে স্কেলে কাঁটার পাঠ লও। আবার পাত দুইটিকে বিপরীত দিকে ঘোরাইতে থাকে যতক্ষণ আবার প্রতিবিম্ব অদৃশ্য না হয়। দুই অবস্থানের মধ্যবর্তী কোণ স্কেলে কাঁটার দুই পাঠ হইতে মাপ। এই কোণ তরল ও বায়ুর সংকট কোণের দ্বিগুণ হয় (৭৫(৪)। $\mu = \frac{1}{\sin\theta}$ —এই সমীকরণ হইতে μ গণনা করা যায়।

৭৭। **প্রিজম** (Prism): কোন কোণে দুইটি আনত সমতল মুখের মধ্যবর্তি স্বচ্ছ মাধ্যমের অংশকে **প্রিজম** বলে। দুইটি প্রতিসরণ তলের মধ্যবর্তি কোণকে প্রিজমের **কোণ** বলে যথা ∠BAC। দুই প্রতিসরণ তলের মিলন রেখাকে প্রিজমের **প্রান্ত** (edge) বলে। প্রান্তের বিপরীত মুখকে প্রিজমের **ভূমি** (base) বলে যথা BC। প্রতিসরণ তলের উপর লম্বভাবে অঙ্কিত কোন তলের দ্বারা বিচ্ছিন্ন অংশকে প্রিজমের প্রধান **ছেদ** (section) বলে। একখান বই খুলিয়া টেবিলের উপর দাঁড় করাইলে প্রিজমের আকার হয়।

৭৮। **প্রিজমের মধ্য দিয়া প্রতিসরণ** :—(Refraction through a prism): মনে কর BAC প্রিজমের প্রধান ছেদ অর্থাৎ আপতিত রশ্মি ও প্রতিসৃত রশ্মি যে সমতলে অবস্থিত সেই সমতল দ্বারা প্রিজম্‌কে ছেদ করা হইযাছে এবং কাগজের সমতল সেই সমতল: মনে কর প্রিজম্‌কে বায়ু মাধ্যমের মধ্যে বসান আছে এবং BC প্রিজমের ভূমি ও ∠BAC = প্রিজমের কোণ। প্রিজমের AB তলের গা ঘেষিয়া Q পিন ও কিছু দূরে P পিন খাড়া ভাবে কাগজের উপর পোত যাহাতে PQ রশ্মি তির্যকভাগে AB তলে আপতিত হয়। AC তলের দিকে দুইটি পিন R ও S পিন খাড়া ভাবে পোঁত যাহাতে প্রিজমের অপর দিক হইতে এই দুই পিন এবং P ও Qর প্রতিবিম্ব এক রেখায় দেখা যায়। প্রিজম তুলিয়া লও। P, Q, এই R ও S যোগ কর। PQকে T পর্যন্ত বর্ধিত কর, এবং SRকে বর্ধিত কর। মনে কর PT ও SR রেখাদ্বয় O′ বিন্দুতে ছেদ করে। এখন PQ আপতিত রশ্মি, QR প্রিজমের মধ্যে প্রতিসৃত রশ্মি ও RS নির্গত (emergent) রশ্মি। PQRS রশ্মির সম্পূর্ণ পথ। Q ও Rতে যথাক্রমে NO ও N′O

৭৯নং চিত্র

অভিলম্ব। সুতরাং দেখা যায় প্রিজমে রশ্মি দুইবার প্রতিসৃত হয়, প্রথমে Qতে লঘুতর মাধ্যম হইতে ঘনতর মাধ্যমে যায় এবং সেই জন্য প্রতিসৃত QR রশ্মি অভিলম্ব QOর দিকে বাঁকিয়া যায় এবং Rতে ঘনতর মাধ্যম হইতে লঘুতর মাধ্যমে যায় সেইজন্য প্রতিসৃত RS রশ্মি অভিলম্ব RN′ হইতে দূরে বাঁকিয়া যায়। সুতরাং প্রিজমের মধ্য দিয়া কোন রশ্মি অতিক্রম করিলে উহা প্রিজমের ভূমির দিকে অর্থাৎ মোটা দিকে বাঁকিয়া যায়।

৭৯। **রশ্মির চ্যুতি** (Deviation): যদি প্রিজম না থাকিত তবে PQ রশ্মি PQT পথে যাইত। ∴ প্রিজমের জন্য রশ্মিটি O′RS পথে যায়। ∴ PQ রশ্মি TO′R কোণ দ্বারা বিচ্যুত হয়। এই কোণ আপতিত রশ্মি PQT ও নির্গত রশ্মির O′RSএর মধ্যস্থ কোণ। ইহাকে **চ্যুতি-কোণ** বা **বিসরণ কোণ** (angle of deviation) বলে। (৭৯নং চিত্র)

৮০। **চ্যুতি-কোণের মান** (Amount of Deviation): মনে কর AB তলে PQ রশ্মির আপতন কোণ $\angle PQN = i$, প্রতিসরণ কোণ $\angle OQR = r$, এবং ACতলে QR রশ্মির আপতন কোণ $\angle QOR = r'$ ও প্রতিসরণ (নির্গমণ) কোণ $\angle N'RS = i'$

মনে কর চ্যুতি-কোণ = D, প্রিজমের কোণ $\angle BAC = \angle A$.

∴ AQR ত্রিভুজের $\angle AQR + \angle ARQ + \angle A =$ ২ × সমকোণ।
$\angle AQO + \angle ARO =$ ২ সমকোণ কারণ ইহারা প্রত্যেকেই সমকোণ।

∴ $\angle OQR + \angle ORQ = \angle A$ ∴ $\angle A = r + r'$.

∴ $D = \angle TO'R = \angle O'QR + \angle O'RQ = i - r + i' - r' = i + i' - (r + r') = i + i' - A$ ······(২৯)

এই সমীকরণ আপতন কোণ, নির্গমণ কোণ ও প্রিজমের কোণের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় করে। আলোকের পথ প্রত্যাবর্তনশীল (reversible) সুতরাং i স্থলে $= i'$ লিখিলে D এর মানের কোন পরিবর্তন হয় না। সুতরাং একই চ্যুতির জন্য দুইটি আপতন ও দুইটি নির্গমন কোণ সম্ভব। যদি কাচের প্রতিসরাঙ্ক μ হয় তবে $\mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin i'}{\sin r'}$ ······(৩০)

চ্যুতি কোণের মাপ:—৭৯নং চিত্রে কোণ-মাপক (protractor) দিয়া $\angle TO'R$, $\angle PQB$, $\angle SRC$ ও $\angle A$ মাপ।

এখন $i =$ ৯০° $- \angle PQB$, $i' =$ ৯০° $- \angle SRC$। ২৯নং সমীকরণের সত্যতা উপরোক্ত কোণ দিয়া স্থির কর।

৮১। **ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ** (Angle of Minimum Deviation): $D = i + i' - A$—এই সমীকরণ হইতে বোঝা যায় যে আপতন কোণের ও প্রিজমের কোণের মানের (value) উপর চ্যুতি-কোণের মান নির্ভর করে। একই প্রিজমের আপতন কোণের মান বদলাইলে চ্যুতি-কোণের মানও বদলাইবে। ইহা পরীক্ষার দ্বারা দেখা গিয়াছে যে প্রত্যেক প্রিজমের আপতন কোণের একটিমাত্র নির্দিষ্ট মান থাকে যাহার আনুসঙ্গিক চ্যুতি-কোণের মান সর্বনিম্ন হয়। আপতন কোণ এই নির্দিষ্ট মান অপেক্ষা **বেশী বা কম** হইলে চ্যুতি-কোণের মান **বাড়িয়াই** যায়, কমে না। সেইজন্য চ্যুতি-কোণের এই মানকে **ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ** বা **লঘিষ্ঠ বিসরণ কোণ** বলে।

৮২। **ন্যূনতম চ্যুতি কোণের সর্ত** (Condition for the Angle of Minimum Deviation):—যখন নির্গত রশ্মি RSর চ্যুতি ন্যূনতম হইবে তখন প্রথম তলে আপতন কোণ i ও দ্বিতীয় তলে নির্গমন কোণ i' সমান হইবে এবং প্রথম প্রতিসরণ কোণ $= r =$ দ্বিতীয় আপতন কোণ r'। $\therefore \angle AQR = \angle ARQ$ $\therefore AQ = AR$. অর্থাৎ আপতিত রশ্মি ও নির্গত রশ্মি প্রিজমের সহিত প্রতিসমভাবে (symmetrically) অবস্থিত হইবে অর্থাৎ আপতন বিন্দু Q ও নির্গমন বিন্দু R প্রিজমের প্রান্ত A হইতে সমদূরত্বে থাকিবে। প্রিজমের ভিতরকার QR রশ্মি প্রিজমের ভূমির সহিত সমান্তরাল হইবে। উপরোক্ত সর্তগুলি একই সর্তের বিভিন্নরূপ। এই সর্তের প্রমাণগুলি নিম্নে দেওয়া হইল।

(১) **গাণিতিক প্রমাণ**: (ক) Q বিন্দুতে $\mu = \dfrac{\sin i}{\sin r}$, R বিন্দুতে $\mu = \dfrac{\sin i'}{\sin r'}$

$$\therefore \mu = \frac{\sin i + \sin i'}{\sin r + \sin r'} = \frac{2 \sin \frac{i+i'}{2} \cos \frac{i-i'}{2}}{2 \sin \frac{r+r'}{2} \cos \frac{r-r'}{2}}$$

$$\frac{\sin \frac{A+D}{2}}{\mu \sin \frac{A}{2}} = \frac{\cos \frac{r-r'}{2}}{\cos \frac{i-i'}{2}}, \ldots\ldots(৩১)$$

যখন Dm এর মান ন্যূনতম হয় তখন $\sin\frac{A+Dm}{2}$ এর মান ন্যূনতম হয় কারণ $\mu \sin\frac{A}{2}$ একই প্রিজমের ধ্রুবক হয়। সুতরাং উপরোক্ত সমীকরণের ডানদিকের রাশির মান ন্যূনতম হইবে। ইহা প্রমাণ করা যায় যে যখন $r=r'$ তখন ডানদিকের রাশির সর্বাপেক্ষা কম মান এক হইবে। $\therefore$ D যখন ন্যূনতম হইবে তখন $i=i'$ বা $r=r'$ বা $AQ=AR$.

(খ) যখন Dm ন্যূনতম তখন বাম বা ডান দিকের রাশি দুইই ন্যূনতম হইবে। ডানদিকের রাশি ন্যূনতম হইবে যখন ইহার হর (denominator) বৃহত্তম হইবে। আমরা জানি কোন কোণের cosine বৃহত্তম যখন কোণ $=0^\circ$.

$$\therefore \frac{i-i'}{2}=0 \text{ or } i=i' \quad \therefore \quad r=r'.$$

সমীকরণে Dm যখন ন্যূনতম তখন ডানদিকের রাশির মান = ১

$$\therefore \mu=\frac{\sin\frac{A+Dm}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

এই সমীকরণকে ন্যূনতম চ্যুতির সমীকরণ বলে।

(গ) **ন্যূনতম চ্যুতির সর্ত ও সমীকরণ** নিম্নলিখিত উপায়েও নির্ণয় করা যায়:—আমরা দেখিয়াছি যে আলোকরশ্মি এক অভিমুখে যে পথে প্রতিসৃত হয় বিপরীত দিকে গমন করিলে সেই পথ অপরিবর্তিত থাকে। প্রিজমের একই পার্শ্বে দুইটি মানের আপতন কোণের জন্য চ্যুতির একই মান পাওয়া যায়। সুতরাং $i'=i'$ না হইলে দুইটি মানের আপতন কোণের জন্য একই মানের চ্যুতি পাইব। যখন $i'=i'$ হইবে তখনই একটি মানের আপতন কোণের জন্য একটি মানের চ্যুতি পাইব। ইহাই হইল ন্যূনতম চ্যুতির মান। সুতরাং চ্যুতির ন্যূনতম মান পাইতে হইলে $i'=i'$ হওয়া দরকার।

$$\therefore \sin i=\mu \sin r \text{ এবং } \sin i''=\mu \sin r' \quad \therefore \quad r=r'.$$

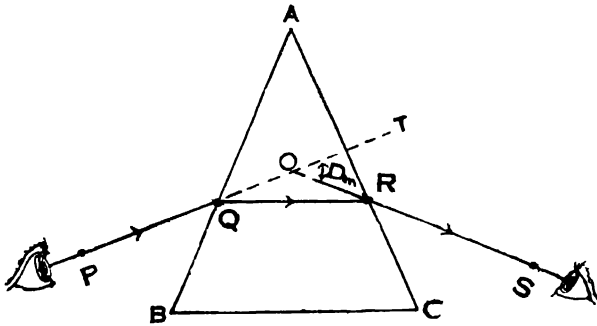
$$\therefore A=2r \quad \therefore \quad 2=\frac{A}{2}$$

$$Dm = 2i - A \quad \therefore \quad i' = \frac{Dm + A}{2}$$

$$\therefore \quad \mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \frac{Dm + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \quad \ldots\ldots(৩২)$$

(২) **পরীক্ষামূলক প্রমাণ** (Experimental Proof) : (ক) ৮০নং চিত্রে Q পিনকে স্থির রাখিয়া প্রিজমকে Q পিনের গায়ে লাগাইয়া Q পিনের চারিপাশে একই দিকে আস্তে আস্তে ঘুরাইতে থাকিলে দেখিবে রশ্মি RS এবং P ও Q পিনের প্রতিবিম্ব একই দিকে খানিকটা সরিবে। এক জায়গায় একটু থামিয়া আবার বিপরীত দিকে সরিতে থাকিবে। যেখানে RS রশ্মির ঘূর্ণনের দিক পরিবর্তিত হইবে সেখানে প্রিজমকে থামাও। প্রিজমের এই অবস্থানের আপতন রশ্মি ও নির্গমন রশ্মি টান। উহাদের মধ্যস্থিত কোণ TO'R মাপিয়া বাহির কর। উহাই ন্যূনতম চ্যুতির কোণ হইবে।

(খ) **লেখ দ্বারা** (By graph) : উপরোক্ত পরীক্ষার মত প্রিজমের AB তল বরাবর P_1, P_2, P_3, P_4, পিন এবং P হইতে একটু দূরে P পিন পোত।

৮০নং চিত্র

PP_1, PP_2, PP_3, PP_4 আপতিত রশ্মির জন্য প্রিজমের অপর দিকে প্রত্যেক ক্ষেত্রে দুইটি করিয়া পিন পুতিয়া ও আনুসঙ্গিক প্রতিবিম্ব দেখিয়া নির্গত রশ্মির

পথ বাহির কর। প্রত্যেক ক্ষেত্রে আপতন কোণ ও রশ্মির চ্যুতি-কোণ কোণ মাপক দিয়া মাপিয়া বাহির কর। (৮২নং চিত্র)।

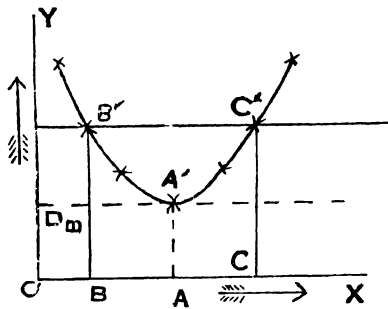
আপতন কোণকে ভুজ OX (abscissa) ও চ্যুতি কোণকে কোটি OY (ordinate) ধরিয়া লেখ B'A'C' টান। লেখ হইতে **প্রমাণ** হয় যে :

(১) প্রথমে আপতন কোণের বৃদ্ধিতে চ্যুতি-কোণ কমিতে থাকে।

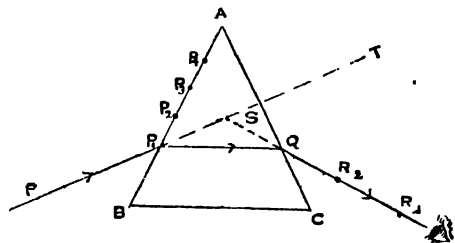
(২) A'তে চ্যুতি কোণের ন্যূনতম মান হয়। ইহাই **ন্যূনতম চ্যুতি-কোণ**।

∴ AA' কোটির অংশ = চ্যুতি-কোণের মান।

(৩) A'এর পর আপতন কোণের বৃদ্ধিতে চ্যুতি কোণ বাড়িতে থাকে।

(৪) OX কোটিব সঙ্গে B'C' রেখা সমান্তরাল টানিলে ইহা লেখকে দুই বিন্দু B' ও C'তে ছেদ করে। ইহার অর্থ এই যে ন্যূনতম মান ব্যতীত যে কোন মানের চ্যুতির দুইটি আনুসঙ্গিক আপতন কোণ থাকে। কেবল ন্যূনতম চ্যুতিরই সময়ে আপতন কোণের একটি মাত্র মান থাকে। এখানে OB ও OC আপতন কোণের দুইটি মানে একই চ্যুতি-কোণ BB' বা CC' থাকিবে।

৮১নং চিত্র

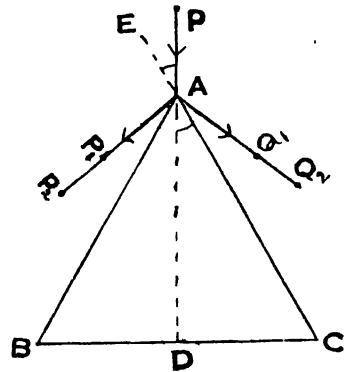
অর্থাৎ i ও i' পরিবর্তন করিলে D একই থাকে।

(৫) B'C'কে OCর সঙ্গে সমান্তরালে নামাইয়া আনিলে B'ও C' বিন্দুদ্বয় A' বিন্দুতে মিলিবে। ∴ যখন $i = i'$ হইবে তখন D ন্যূনতম হইবে।

৮২নং চিত্র

(গ) **পিন দ্বারা :**

বোর্ডের উপর সাদা কাগজ আঁট। কাগজের উপর প্রিজম বসাও। প্রিজমের

সীমারেখা ABC টান। A হইতে **AQ ও AR সমান** (AB বা ACর ⅙ ভাগের কাছাকছি) **দূরত্ব** মাপিয়া লইয়া Q ও Rতে AB ও AC তল ঘেষিয়া দুইটি পিন খাড়াভাবে পোত। এখন ACর সম্মুখ হইতে দেখিয়া S পিন পোত যাহাতে S, R পিন ও Qর প্রতিবিম্ব এক রেখায় দেখা যায়। আবার ABর সম্মুখ হইতে দেখিয়া P পিন পোত যাহাতে P ও Q পিন ও Rর প্রতিবিম্ব এক রেখায় দেখা যায়। প্রিজম সরাও। PQRS যোগ কর। PQকে T পর্যন্ত বর্ধিত কর এবং SRকে বর্ধিত কর যাহাতে ইহা PTকে O বিন্দুতে ছেদ করে। TOR কোণ মাপ। ইহাই ন্যূনতম চ্যুতি কোণ কারণ এখানে AQ = AR. (৮০নং চিত্র)।

৮৩। **প্রিজমের কোণ নির্ণয়** (Determination of the angle of a prism)): **পিনের প্রতিফলন দ্বারা** : মনে কর ABC কোন প্রিজমের কাগজেব উপর সীমারেখা। A হইতে BCর উপর AD লম্ব টান। DAকে P পর্যন্ত বাড়াও। Pতে একটি পিন পোত। P হইতে PA রশ্মি AB তল হইতে আংশিক ও AC তল হইতে আংশিক **প্রতিফলিত** হয়। P_1 ও P_2 পিন পোত যাহাতে এই পিন দুটি ও প্রতিফলনের দ্বারা উৎপন্ন P পিনের প্রতিবিম্ব ও A বিন্দু এক সরল রেখায় দেখা যায়। এইরূপ Q_1 ও Q_2 পিন

৮৩নং চিত্র

অপর দিকে পোত। প্রিজম সরাও। AP_1P_2 ও AQ_1Q_2 যোগ কর। P_2AQ_2 কোণ মাপ। প্রিজমের কোণ = $\frac{1}{2}\angle P_2AQ_2$

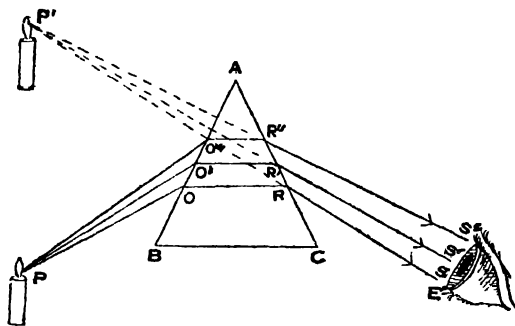
প্রমাণ : CAকে E পর্যন্ত বাড়াও। আপতিত রশ্মি PAএর আনুসঙ্গিক প্রতিফলিত রশ্মি হইল AQ_2 $\therefore$ $\angle CAQ_2 = \angle EAP = \angle DAC$ (বিপরীত কোণ বলিয়া) $\therefore$ $\angle DAQ_2 = 2\angle DAC$। এইরূপে $\angle DAP_2 = 2\angle DAB$

$\therefore \quad \angle P_2AQ_2 = \angle DAQ_2 + \angle DAP_2 = 2\angle BAC = 2A.$

৮৪। প্রিজমের μ নির্ণয়ঃ কঠিনের μঃ $\mu = \dfrac{\sin \frac{A+Dm}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$;

এই সমীকরণে A ও Dm জানা থাকিলে μ বাহির করা যায়। Dm ৮২ অনুচ্ছেদের ২ (গ) প্রক্রিয়ায় ও A অনুচ্ছেদ ৮৩ অনুসারে বাহির করা যায়। এইরূপ প্রশ্নে A ও Dm বাহির করিবার পূর্ণ বিবরণ দিতে হইবে।

তরলের ঃ তিনটি খুব পাতলা সমান্তরাল কাচ পাত দ্বারা নির্মিত ফাঁপা প্রিজমের মধ্যে পরীক্ষাধীন তরল ঢাল। এখন উপরোক্ত উপায়ে A ও Dm করিয়া μ বাহির কর।

৮৫। প্রিজমের দ্বারা উৎপন্ন প্রতিবিম্ব (Image by a prism): আমরা জানি প্রিজম ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থানের কাছাকাছি থাকিলে আপতন কোণের সামান্য পরিবর্তনে চ্যুতি-কোণের **অতি সামান্য** পরিবর্তন হয়। সুতরাং যদি P দীপক-বিন্দু হইতে অতি সূক্ষ্ম (narrow) অপসারী রশ্মিগুচ্ছ POO″ প্রিজমে

৮৪নং চিত্র

এমনভাবে আপতিত হয় যে রশ্মিগুচ্ছের মধ্য-রশ্মি PO′ (axial ray) ন্যূনতম চ্যুতির পথে যায় তবে সমস্ত রশ্মিগুলিই প্রায় সমপরিমাণে বাঁকিয়া যাইবে অর্থাৎ আপতনের পূর্বে তাহাদের পরস্পরের মধ্যে যে কৌণিক পার্থক্য থাকে

প্রতিসরণের পরও সেই পার্থক্যই থাকে। সুতরাং প্রিজম হইতে নির্গত R″S″RS রশ্মিগুচ্ছ P′ হইতে আসে বলিয়া মনে হয়। অতএব Pএর প্রতিবিম্ব P′ হয়। যদি P′ অভিমুখে অপসারী রশ্মিগুচ্ছ AC তলে আপতিত হয় তবে প্রতিসরণের পর তাহারা Pতে মিলিত হইবে। সুতরাং P ও P′কে প্রিজমের অনুবন্ধ ফোকস বলে। প্রিজমের অন্য যে কোন অবস্থানে P হইতে অপসারী রশ্মি গুচ্ছ প্রতিসরণের পর একটি বিন্দু হইতে আসে বলিয়া মনে হইবে না। ৮৪নং চিত্রে দেখ Pএর প্রতিবিম্ব উপরদিকে উঠিয়া যায়।

1. A speck in the interior of a piece of plate of glass appears to an observer looking normally into the glass to be 2*mm.* from the nearer surface. What is the real distance? $\mu = \frac{3}{2}$

(C. U. 1921)

$${}_a\mu_g = \frac{\text{প্রকৃত দূরত্ব}}{\text{আপাত দূরত্ব}} \quad \therefore \frac{৩}{২}$$

∴ উপরতল হইতে দাগের দূরত্ব $= \frac{৩}{২} \times ২ = ৩$ মিঃ মিঃ

2. An eye is placed at a certain depth below the calm surface of water. Show that to the eye the surface appears like a reflecting plane mirror with a circular hole, through which objects situated outside water can be seen. Also prove that the radius of the hole is $h / \sqrt{\mu^2 - 1}$ c.m. where μ = refractive index of water and h c.m. is the depth at which the eye is placed.

সংকট-কোণের অপেক্ষা বৃহত্তর কোণে আপতিত রশ্মির পূর্ণ প্রতিফলন হয় সুতরাং জলের উপরতলকে OO_1 ব্যাসের একটি ছিদ্র বলিয়া মনে হইবে (৬৩নং চিত্র) $OO_1 = h \tan i \quad \therefore h = OP$

আবার $\sin i = \frac{১}{\mu}$ or $\mu^২ = \text{cosec}^২\, i = \cot^২ i + ১.$

$$\cot i = \sqrt{\mu^2 - ১} \quad \therefore O_1O_2 = \frac{h}{\sqrt{\mu^2 - ১}}$$

3. The minimum deviation produced by a hollow prism filled

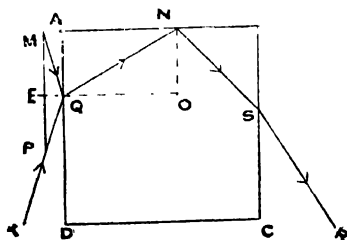
with a certain liquid is 30°. If the refracting angle of the prism is 60° what is μ of the liquid. (C. U. 1932)

$$\mu = \frac{\sin\frac{A+Dm}{২}}{\sin\frac{A}{২}} = \frac{\sin\frac{৩০°+৬০°}{২}}{\sin\frac{৬০°}{২}} = \frac{\sin ৪৫°}{\sin ৩০°} = ১.৪.$$

4. Calculate the refractive index of a glass prism for sodium light when the refracting angle of the prism is 45·4° and the minimum deviation of a ray of sodium light passing through it is 26° 40′. (sin 36°52′ = ·586′, sin 22° 32′ = ·383) (C. U. 1934)

$$\mu = \frac{\sin\frac{A+Dm}{২}}{\sin\frac{A}{২}} = \frac{\sin\frac{৪৫°৪'+২৬°৪০'}{২}}{\sin\frac{৪৫°৪'}{২}} = \frac{\sin ৩৫°৫২'}{\sin ২২°৩২'} = \frac{.৫৮৬}{.৩৮৩} = ১.৫৩.$$

5. The critical angle between glass and air is 42°. Prove that a ray of light incident on a face of a glass cube suffers total internal reflection at the adjacent face whatever may be the angle of incidence. (Pat. U. 1944).

মনে কর ABCD একটি কাচের ঘনক। AD তলের Q বিন্দুতে TQ আপতিত রশ্মি। QN প্রতিসৃত রশ্মি AB তলে পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হইয়া NS রেখা বরাবর BC তলে আপতিত হইয়া SR বরাবর নির্গত হয়। OQ ও ON অভিলম্ব। যখন ∠QNO > ৪২° তখন Nতে রশ্মির পূর্ণ প্রতিফলন হইবে ∠QNO = ৯০° − ∠NQO ∴ যখন ∠NQO সর্বোচ্চ মানে পৌছিবে তখন

৮৫নং চিত্র

∠QNO ন্যূনতম মানে পৌছিবে কিন্তু ∠NQOএর সর্বোচ্চ মান ৪২° পর্যন্ত হইতে পারে যখন Qতে আপতন কোণ ৯০° হবে অর্থাৎ যখন আপতিত রশ্মি AD তল ঘেষিয়া যাইবে। ∴ ∠QNOএর ন্যূনতম মান = ৯০°

—৪২°—৪৮°. সুতরাং Qতে যে কোন কোণে রশ্মি আপতিত হইলে Nতে তাহার পূর্ণ প্রতিফলন হইবে।

6. The covered print is not visible from any of the four sides of a glass cube placed on a book. (see Q. 5)

৮৫ নং প্রশ্নের ছবি দেখ। মনে কর পুস্তক ও ঘনকের মধ্যে একটি পাতলা বায়ুস্তর আছে। মনে কর MEP পুস্তকের তল। পুস্তকের কিনারা P ও M হইতে দুইটি রশ্মি প্রায় AD তল ঘেষিয়া Q বিন্দুতে আপতিত হইলে প্রতিসৃত রশ্মি দ্বয় AB তলে পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হইবে। সুতরাং পুস্তকের প্রথম পৃষ্ঠায় লেখা AG তল হইতে দেখা যাইবে না। এইরূপ দেখান যাইতে পারে পুস্তকের লেখা ঘনকের কোন তল হইতেই দেখা যাইবে না।

প্রশ্ন

1. State the laws of refraction of light. Explain how they are experimentally verified. (C. U. 1911, '12, '14, '19 ; Pat. '43, '45.)

2. Define the index of refraction. A rod is partially dipped in a basin of water. Explain by means of a diagram the appearance presented. (C. U. 1916)

3. A coin placed in a basin is hidden from view by the side of the vessel. When water is placed into the vessel the coin just comes into view. Explain the phenomenon by means of a diagram. (C. U. 1914.)

4. Deduce from the laws of refraction the condition of total internal reflection of light. Describe some phenomena depending on total reflection, (C. U. 1912, '16, '17, '21, '22, '25, '28, '30 ; Pat. 1919, '27.)

5. State clearly the elementary laws of reflection and refraction of light. Explain how total reflection occurs when a ray of light passes from one medium to another in which the speed is different. (C. U. 1936.)

6. Bubbles of air coming out through water in a glass vessel appear silvery to an observer standing by the sides. Explain this. (C. U. 1922, '23.)

7. A right-angled isosceles glass prism is sometimes used in the place of a plane mirror. Explain by the aid of a diagram how it can be used. Is it more advantageous ? If so, why ?

(C. U. 1924 ; Pat. 1919, '25, '28.)

8. Explain the terms 'total reflection' and 'critical angle' and establish the relation between critical angle and refractive index.

(Pat. 1944 ; C. U. '44, '46.)

9. Explain clearly why a smoked ball on being introduced in a beaker of water appears silver white. Also explain the use and construction of a periscope. (Pat. 1930 ; '45.)

10. Define refractive index. How will you determine it for water ? Give full experimental details. (Pat. 1931 ; All. 1919.)

11. You are given a block of glass, a piece of paper with a pencil mark, some lycopodium powder and a microscope capable of vertical motion. Explan how you would find out the refractive index of glass. (All. 1924.)

12. Explain a method, using the phenomenon of total internal reflection, for finding the refractive index of a liquid.

(C. U. 1940 ; All '44)

13. What is meant by the critical angle for a given refracting medium ? Show how you would measure it. Hence determine the refractive index of the medium. What is total reflection and when does it take place ?

14. Describe and explain, with the help of a diagram, the phenomenon of mirage. (C. U. 1912, '16, '17, '21, '37.)

15. Explain why the mirage is observed in deserts and over very cold water surfaces. (Pat. 1924.)

16. Draw a neat diagram showing the path of a ray of light through a 60° prism ; the ray makes an angle of 25° with one of the faces, refractive index of the material being 1·5 with reference to air. (Dac. 1932.)

17. Prove that in the position of minimum deviation the ray passes symmetrically through a prism. If the prism has a refracting

angle of 60° and refractive index = $\sqrt{2}$, calculate the angle of minimum deviation. (Dac. 1930.)

[Ans : 29°40′]

18. Show how the relation between the angle of incidence and the deviation caused in the case of a prism may be determined by the use of pins. (Pat. 1918, '36 ; C. U. 1910.)

19. What do you mean by the angle of deviation of a ray of light, and when is this angle minimum when the deviation is caused by a prism placed in the path ? (Pat. 1934 : C. U. 1915.)

20. Explain with theory how you will calculate the refractive index of the material of the prism. (Pat. 1925 cf. 42 ; C. U. '45)

21. Explain what is meant by the minimum deviation of a ray passing through a prism (All. '46.). How can you determine it with the spectrometer ?

The refracting angle of a prism is 60°, and the minimum deviation produced in a pencil of monochromatic light is 40°. Find the refractive index of the prism for the light used. Given sin 50° = 0·766. (C. U. 1930.)

[Ans : $\mu = 1{\cdot}412$].

22. Define critical angle. Show that if the angle of a prism be greater than twice the critical angle of glass of which it is made there will be no emergent ray. (Pat. 1929)

23. A candle flame is viewed through (*a*) a prism (*b*) a parallel-sided plate of glass. Explain, with the aid of neat diagrams, the apparent positions of the candle as seen by the eye. (C. U. 1932.)

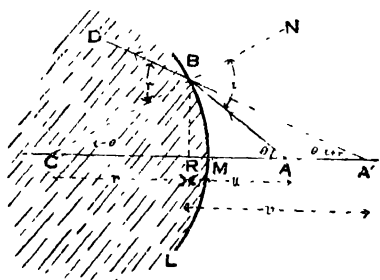
24. A hollow glass prism full of air is immersed in a glass tank full of water. Make a diagram showing rays of the light passing through both water and prism. (Pat. 1919.)

25. Explain the apparent raising of a picture stuck on the bottom of a cube of glass, as it appears to an eye looking down as if it were in the glass. If the index of refraction is 1·6, how much does the picture appear to be raised to a perpendicular vision ?

[Hints. $\mu = \frac{t}{t-x}$, where t is the thickness of the glass cube, and x the distance through which the picture appears to be raised.]

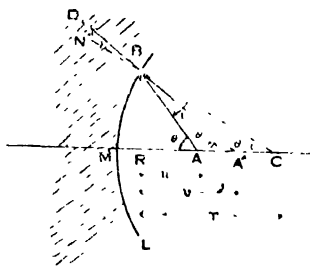
গোলীয় তলে প্রতিসরণ ঃ লেন্স ঃ

(Refraction At Spherical Surfaces : Lenses).

৮৬। **একটি গোলীয় তলে প্রতিসরণ ঃ** (Refraction at a single spherical surface): যখন স্বচ্ছ সমস্বত্ব মাধ্যম গোলীয় তল দ্বারা সীমাবদ্ধ থাকে তখন তাহাকে **গোলীয় প্রতিসারক** (Spherical refracting) **তল** বলে। এইরূপ তলের দুইদিকে দুইটি বিভিন্ন আলোকীয় মাধ্যম থাকে। এই তলটি দুই মাধ্যমের বিভাগ-তল। সমতলে প্রতিসরণের যে নিয়ম খাটে (৩য় খণ্ড ৫৯নং অনুচ্ছেদ) গোলীয় তলে প্রতিসরণের সেই নিয়ম খাটে। কারণ প্রত্যেক গোলীয় তলকে অসংখ্য সমতলের সমষ্টি ধরা যাইতে পারে। আপতিত রশ্মির এবং প্রতিসরণ তলের বক্রতা-কেন্দ্র ও আপতন-বিন্দু সংযোজক রেখার মধ্যবর্তি কোণকে **আপতন কোণ** বলে। আপতন কোণ ও প্রতিসরাঙ্ক হইতে প্রতিসরণ কোণ পাওয়া যায়। প্রতিসরাঙ্ক এক হইতে কম হইলে দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্ব হইতে সরিয়া যায় এবং এক হইতে বেশী হইলে প্রতিসৃত রশ্মি অভিলম্বের দিকে সরিয়া আসে।

৮৬নং চিত্র

মনে কর ৮৬নং চিত্রে BL উত্তল গোলীয় তলের ছেদ এবং ৮৭নং চিত্রে BL অবতল গোলীয় তলের ছেদ। C তলের কেন্দ্র, M তলের মধ্য বিন্দু (pole), MAC প্রধান অক্ষ। দুই চিত্রে অক্ষের উপর A দীপক-বিন্দু।

মনে কর BL তলের বামদিকের মাধ্যম কাচ, ডানদিকের মাধ্যম বায়ু এবং বায়ু হইতে কাচে প্রতিসরাঙ্ক $=\mu$. মনে কর A হইতে নির্গত একটি রশ্মি-

গুচ্ছের সীমান্ত রশ্মি AB প্রতিসরণ তলে Mএর নিকট B বিন্দুতে আপতিত হইয়া কাচের মধ্যে BD পথে প্রতিসৃত হয়। মনে কর B বিন্দুতে CN অভিলম্ব সুতরাং BD রশ্মি কাচের মধ্যে অভিলম্বের দিকে সরিয়া আসে। BDকে পশ্চাৎদিকে বর্ধিত করিলে অক্ষ ACকে A′ বিন্দুতে ছেদ করে। রশ্মিগুচ্ছের অপর একটি রশ্মি AM অক্ষ বরাবর অভিলম্বভাবে BL প্রতিসরণতলে আপতিত হয় এবং সোজা প্রতিসৃত হয়। AM ও BD রশ্মির অভিমুখ A′তে ছেদ করে। ∴ দুই প্রতিসৃত রশ্মি A′ হইতে আসিতেছে মনে হয়। সুতরাং Aএর অসদ্ প্রতিবিম্ব হইল A′। ৮৬নং চিত্রে আপতন কোণ $=\angle ABN = i$, প্রতিসরণ কোণ $=\angle CBD = r$। ৮৭নং চিত্রে আপতন কোণ $=\angle ABC = i$, প্রতিসরণ কোণ $=\angle NBD = r$

৮৭নং চিত্র

$$\text{৮৬নং চিত্রে } \mu = \frac{\sin \angle ABN}{\sin \angle CBD}; \text{ ৮৭নং চিত্রে } \mu = \frac{\sin \angle ABC}{\sin \angle NBD}$$

দুই চিত্রে B হইতে অক্ষের উপর BR লম্ব টান। মনে কর $\angle BAR = \theta$

$\therefore$ ৮৬নং চিত্রে $\theta = \angle BAR = \angle ABA' + \angle BA'A = \angle ABN - \angle A'BN$

$$+ \angle BA'A = i - r + \angle BA'A \quad \therefore \angle BA'A = \theta - i + r.$$

আবার $i = \angle NBA = \angle BCR + \angle BAR = \angle BCR + \theta$

$$\therefore \quad \angle BCR = i - \theta.$$

অনুরূপভাবে ৮৭নং চিত্রে $\angle BA'A = \theta = i + r$ ও $\angle BCR = \theta - i$. সমস্ত রশ্মিগুলি তলের মধ্য-বিন্দু Mএর খুব নিকটে ধরিলে θ খুব কম হইবে এবং R ও Mকে প্রায় একবিন্দু ধরা যায়। কোণ খুব ক্ষুদ্র হইলে কোণের মানকে tangent দ্বারা প্রকাশ করা যায় $\therefore$ দুই চিত্রেই $\theta = \frac{BR}{AR} = \frac{BR}{AM} = \frac{BR}{u}$......(ক)

$$(\theta - i) = \frac{BR}{CR} = \frac{BR}{CM} = \frac{BR}{r_1} \ldots(\text{খ}); \quad (\theta - i + r) = \frac{RB}{RA'} = \frac{BR}{MA'} = \frac{BR}{v} \ldots(\text{গ})$$

এখানে r_1 = বক্রতা-ব্যাসার্ধ

$$(ক)\ ও\ (খ)\ হইতে\ i = \frac{BR}{u} - \frac{BR}{r_1}$$

$$(খ)\ ও\ (গ)\ হইতে\ r = \frac{BR}{v} - \frac{BR}{r_1}$$

৮৬নং চিত্রে r_1 ঋণাত্মক এবং যখন i ও r কোণ ছোট তখন $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{i}{r} = \mu$

$$\therefore\ i = \mu r \ \ldots.\ (ঘ)$$

∴ (ঘ) সমীকরণে i ও r এর মান (value) রাখিলে $\frac{BR}{u} - \frac{BR}{r_1} = \mu\left(\frac{BR}{v} - \frac{BR}{r_1}\right)$

$$\text{or}\quad \frac{1}{u} - \frac{1}{r_1} = \mu\left(\frac{1}{v} - \frac{1}{r_1}\right) \qquad \therefore\ \frac{\mu}{v} - \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{r_1} \ \ldots\ \ldots.\ (৩২)$$

এই সমীকরণ মধ্য-বিন্দু হইতে বস্তু ও প্রতিবিম্বের দূরত্বের ও বক্রতা-ব্যাসার্ধের সম্পর্ক নির্ণয় করে।

অবতল তলে প্রতিসরণের পর রশ্মি অপসারী (divergent) হয় সেইজন্য এই তলকে **অপসারী প্রতিসারক গোলীয়** তল বলে। উত্তল তলে প্রতিসরণের পর রশ্মি অভিসারী (convergent) হয় সেইজন্য এই তলকে **অভিসারী প্রতিসারক গোলীয়** তল বলে।

৮৭। **মুখ্য বা প্রধান ফোকস :** (ক) যদি বস্তু অসীমে থাকে অর্থাৎ $u = \infty$ হয় তবে বহু দূরের বস্তু হইতে আগত রশ্মি অক্ষের সমান্তরাল হয় এবং প্রতিবিম্ব প্রধান ফোকসে গঠিত হয়।

তখন সমীকরণ এইরূপ হয় :— $v = \frac{\mu \times r_1}{\mu - 1}$ মনে কর $\frac{\mu \times r_1}{\mu - 1} = f_2$.

∴ f_2 = মধ্য-বিন্দু M হইতে দ্বিতীয় প্রধান ফোকসের দূরত্ব।

(খ) যদি $v = \infty$ হয় অর্থাৎ দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রতিসৃত রশ্মি অক্ষের সহিত সমান্তরাল হয় তবে $u = -\frac{r}{\mu - 1} = f_1$

∴ f_1 = মধ্য-বিন্দু M হইতে প্রথম প্রধান ফোকসের দূরত্ব। প্রথম প্রধান ফোকস ও দ্বিতীয় প্রধান ফোকস মধ্য-বিন্দু Mএর দুইদিকে গঠিত হয় এবং $-\mu f_1 = f_2$.

দ্রষ্টব্য : (১) এই সমীকরণের সাহায্যে বা চিত্র দিয়া দেখান যায় যে অবতল তলের r ধনাত্মক, v সর্বদাই ধনাত্মক হয়, সুতরাং অবতলে উৎপন্ন প্রতিবিম্ব অসদ্ হয়। (২) উত্তল তলের r ঋণাত্মক হয়।

$\therefore \quad \frac{\mu}{v} = \frac{1}{u} - \frac{\mu - 1}{r}$ $\quad \therefore$ v ধনাত্মক ও ঋণাত্মক দুই হইতে পারে।

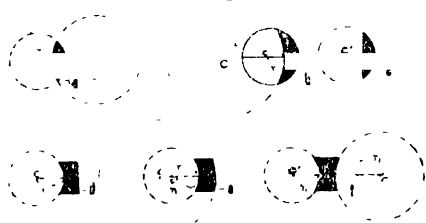
$\therefore$ প্রতিবিম্ব সদ্ ও অসদ্ দুইই হইতে পারে।

৮৮। **লেন্স :** এইবার দুই গোলীয় তলে প্রতিসরণের কথা আলোচনা করিব। দুই গোলীয় বা একটি গোলীয় ও একটি সমতল তল দ্বারা সীমাবদ্ধ স্বচ্ছ প্রতিসারক (refracting) মাধ্যমের অংশ বিশেষকে **লেন্স** বলে। দুই সীমান্ত (bounding) তলের দুই বক্রতা-কেন্দ্র সংযোজক রেখাকে লেন্সের **প্রধান অক্ষ** (principal axis) বলে যথা ৮৮নং চিত্রে CC′। প্রধান অক্ষের মধ্য দিয়া লেন্সের ছেদকে লেন্সের **প্রধান ছেদ** (principal section) বলে।

৮৯। **লেন্সের প্রকার ভেদ** (Kinds of lenses) : লেন্স প্রধানতঃ দুই প্রকারের :—

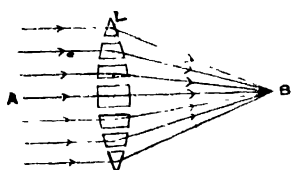
(ক) **উত্তল** (convex) বা **অভিসারী** (converging) : এই লেন্সগুলি মাঝখানে মোটা, কিনারার দিকে ক্রমশঃ সরু হইয়া গিয়াছে। এই প্রকার লেন্সের প্রধান অক্ষের সহিত সমান্তরালে চলিয়া কোন সূক্ষ্ম সমান্তরাল রশ্মি গুচ্ছ লেন্সে আপতিত হইলে প্রতিসরণের পর রশ্মিগুলি অক্ষের উপর একটি বিন্দুতে প্রকৃতই কেন্দ্রীভূত হয়। এই বিন্দুকে **মুখ্য বা প্রধান ফোকস** (principal focus ৯৩নং চিত্রে F′) বলে।

৮৮নং চিত্র

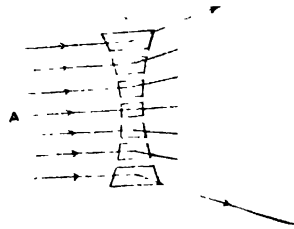
(খ) **অবতল** (concave) বা **অপসারী** (diverging) : এই লেন্সগুলি মাঝখানে সরু। কিনারার দিকে ক্রমশঃ মোটা হইয়া গিয়াছে। এই প্রকার লেন্সে প্রধান অক্ষের সহিত সমান্তরালে কোন সূক্ষ্ম সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ আপতিত হইলে প্রতিসরণের পর

রশ্মিগুলি অক্ষের উপর একটি বিন্দু হইতে আসে বলিয়া মনে হয়। এই বিন্দুকে **মুখ্য** বা **প্রধান ফোকস** বলে (৯৪নং চিত্রে F′)। প্রত্যেক প্রকার লেন্সের তিন প্রকার আকার (form) থাকে।

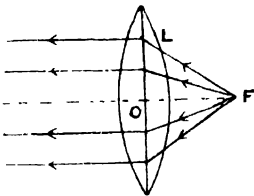
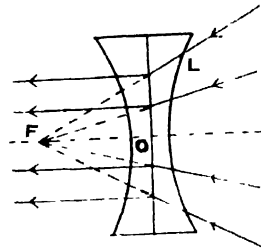
উত্তল লেন্সের আকার:—(ক) **উভোত্তল** (Double or bi convex, ৮৮নং চিত্র a.) দুই দিকে উত্তল। (খ) **অবতলোত্তল** (Concavo-convex, b.) এক দিক অবতল, এক দিক উত্তল। (গ) **সমোত্তল** (Plano-convex, c) এক দিক উত্তল, এক দিক সমতল।

অবতল লেন্সের আকার:—(ক) **উভাবতল** (Double concave, f.) দুই দিকে অবতল। (খ) **সমাবতল** (Plano-concave, d) এক দিক অবতল, এক দিক সমতল। (গ) **উত্তলাবতল** (Convexo-concave, e) এক দিক উত্তল, এক দিক অবতল।

৯৪। লেন্স ও প্রিজ্‌ম্‌ঃ উত্তল লেন্সকে অক্ষের দুই ধারে সমভাবে সজ্জিত কতকগুলি প্রিজ্‌মের সমষ্টি ধরা যাইতে পারে। মনে কর এই প্রিজ্‌ম্‌গুলির ভূমি (মোটা অংশ) অক্ষ ABর দিকে আছে এবং কিনারার দিকে প্রিজ্‌মের কোণ ক্রমশঃ বাড়িয়া গিয়াছে। আমরা জানি প্রিজ্‌মের মধ্য দিয়া রশ্মির চ্যুতি প্রিজ্‌মের কোণের উপর নির্ভর করে এবং প্রিজ্‌মের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত রশ্মি ভূমির দিকে বাঁকিয়া যায়। সুতরাং উপরোক্ত ব্যবস্থায় প্রতিসৃত রশ্মিগুলি প্রধান অক্ষের দিকে বাঁকিয়া যায়। যতই কিনারার দিকে যাইবে ততই রশ্মি অক্ষের দিকে বেশী বাঁকিবে। উত্তল লেন্সে ঠিক এইরূপ হয়। সেইজন্য এই লেন্সের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত রশ্মি **অভিসারী** হয়।

৮৯নং চিত্র

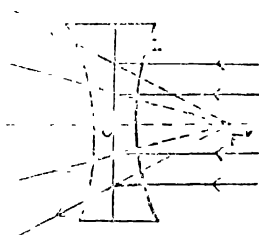
অবতল লেন্সে উপরোক্ত ব্যবস্থার বিপরীত ব্যবস্থা ধরা যাইতে পারে অর্থাৎ প্রিজ্‌মগুলির ভূমি কিনারার দিকে থাকে এবং অক্ষের দিকে কোণ থাকে এইরূপ

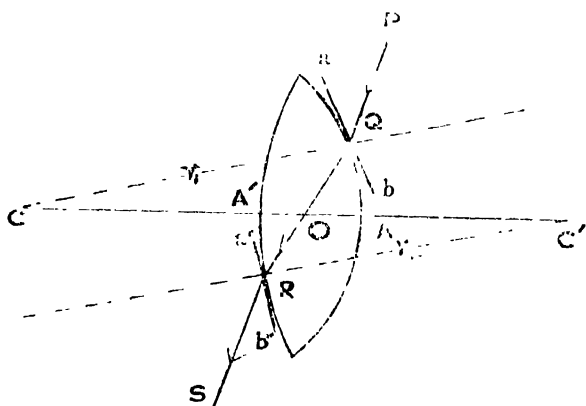
ধরা হয়। সুতরাং এই লেন্সের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত রশ্মিগুলি অক্ষ হইতে বিপরীত দিকে বাঁকিয়া যায়। সেইজন্য অবতল লেন্সে রশ্মিগুচ্ছ **অপসারী** হয়। দুই লেন্সে ঠিক মাঝখানের অংশ সমান্তরাল পাত ধরা যাইতে পারে। সেইজন্য মধ্য-বিন্দুতে কোন রশ্মি আপতিত হইলে উহা সোজা চলিয়া যায়।

৯০নং চিত্র

৯৫। সংগা : (ক) মুখ্য ফোকস: প্রত্যেক লেন্সের দুই পাশে দুইটি হইতে আলোক রশ্মি আপতিত হইতে পারে। সুতরাং প্রত্যেক লেন্সের দুই পাশে দুই মুখ্য ফোকস থাকে। যদি প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত কোন বিন্দু হইতে নির্গত

৯১নং চিত্র ৯২নং চিত্র

অপসারী রশ্মিগুচ্ছ (উত্তল লেন্সে) কিংবা ঐ বিন্দুর দিকে অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ (অবতল লেন্সে) লেন্সের মধ্য দিয়া প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের সহিত সমান্তরাল হয় তবে ঐ বিন্দুকে **প্রথম প্রধান ফোকস** (৯১ ও ৯২ চিত্র F) বলে। আর যদি পরস্পর সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ প্রধান অক্ষের সহিত সমান্তরালে চলিয়া লেন্সের মধ্য-বিন্দুর নিকট আপতিত হইয়া প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের উপর কোন বিন্দুতে প্রকৃতই কেন্দ্রীভূত হয় (উত্তল লেন্সে) বা কোন বিন্দু হইতে আসে বলিয়া মনে হয় (অবতল লেন্সে) তবে সেই বিন্দুকে **দ্বিতীয় প্রধান ফোকস** (F′) বলে। সাধারণতঃ এই দ্বিতীয় প্রধান ফোকসকেই লেন্সের **প্রধান ফোকস** বলে।

(খ) ফোকস দূরত্ব (Focal length). প্রধান ফোকস হইতে আলোককেন্দ্র (optical centre) পর্যন্ত দূরত্বকে **ফোকস দূরত্ব** (FO) বলে। যদি লেন্সের

৯৩নং চিত্র ৯৪নং চিত্র

চারিধারে একই মাধ্যম থাকে তবে দুই ফোকস হইতে আলোক কেন্দ্রের দূরত্ব সমান হয়।

(গ) আলোক-কেন্দ্র (Optical Centre)। মনে কর C ও C′ উত্তল লেন্সের দুই তলের বক্রতা কেন্দ্র এবং CQ ($=r_1$) ও C′R ($=r_2$) দুইটি

৯৫নং চিত্র

সমান্তরাল ব্যাসার্ধ। ইহারা দুই তলকে Q ও R-তে স্পর্শ করে। এই ব্যাসার্ধ দুইটি লেন্সের দুই তলে Q ও R বিন্দুতে অভিলম্বভাবে স্পর্শ করে সুতরাং Q ও R-তে লেন্সের সামান্য তল ab ও $a'b'$ পরস্পর সমান্তরাল হয়। মনে কর PQ

রশ্মি Qতে আপতিত হইয়া লেন্সের ভিতরে প্রতিসরণের পর RS বরাবর নির্গত হয়। ab ও $a'b'$কে একটি সমান্তরাল পাত মনে করিলে PQ ও RS সমান্তরাল হইবে ('৪ অনুচ্ছেদ) $\therefore$ PQRS একটি রশ্মির পথ। মনে কর PQRS রশ্মির পথ প্রধান অক্ষকে O বিন্দুতে ছেদ করে।

O একটি নির্দিষ্ট বিন্দু : ক) CQ ও C'R সমান্তরাল $\therefore$ COQ ও C'OR সমরূপ (similar) ত্রিভুজ

$$\therefore \frac{OC}{OC'} = \frac{CQ}{C'R} = \frac{CA}{C'A'} \text{ (একই বৃত্তের ব্যাসার্ধ বলিয়া)}$$

$$= \frac{CA - OC}{C'A' - OC'} = \frac{OA}{OA'} \quad \therefore \frac{OA}{OA'} = \frac{CA}{C'A'} = \frac{r_1}{r_2} = \text{ধ্রুবক}$$

$\therefore$ O বিন্দু AA'কে দুই ব্যাসার্ধের নির্দিষ্ট অনুপাতে ভাগ করে। সেইজন্য নির্দিষ্ট লেন্সে **O একটি নির্দিষ্ট বিন্দু**। এই নির্দিষ্ট বিন্দুকে **আলোক-কেন্দ্র** বলে।

অতএব যদি কোন আলোক রশ্মি লেন্সের এক তলে আপতিত হইয়া প্রতিসরণের পর অন্য তল দিয়া আপতিত রশ্মির সমান্তরালে নির্গত হয় তবে লেন্সের মধ্যে উহার পথ প্রধান অক্ষের উপর একটি নির্দিষ্ট বিন্দু ছেদ করিয়া যাইবে। এই নির্দিষ্ট বিন্দুকে **আলোক-কেন্দ্র** বা শুধু লেন্সের কেন্দ্র বলে। আবার এই কেন্দ্রের মধ্য দিয়া যে রশ্মি অতিক্রম করিবে তাহার আপতিত পথ ও প্রতিসৃত পথ সমান্তরাল হইবে। মনে রাখিবে মোটা লেন্সের কেন্দ্রের মধ্য দিয়া অতিক্রান্ত রশ্মির পথের দিক পরিবর্তন হয় না, কেবল পার্শ্বে সরিয়া যায় (the ray is not deviated but only laterally displaced) কিন্তু লেন্স যদি সরু হয় তবে পার্শ্বে সরণ অতি সামান্য হয়। উভোত্তল ও উভাবতল লেন্সের কেন্দ্র লেন্সের ভিতরে থাকে। সমোত্তল ও সমাবতল লেন্সের কেন্দ্র ও লেন্সের মধ্য-বিন্দু (pole) একই হয়।

আলোক কেন্দ্রের অবস্থান নির্ণয় : $\frac{OA}{OA'} = \frac{r_1}{r_2} \therefore \frac{OA}{OA' + OA}$

$= \frac{r_1}{r_1 + r_2} \quad \therefore OA = (OA' + OA) \times \frac{r_1}{r_1 + r_2} = t \cdot \frac{r_1}{r_1 + r_2}$ (t = লেন্সের মধ্য-বিন্দুতে বেধ). এইরূপ $OA' = t \times \frac{r_2}{r_1 + r_2}$.

(ঘ) **ফোক্‌স তল** (Focal Plane) : প্রধান ফোকসের মধ্য দিয়া প্রধান অক্ষের সহিত সমকোণে অঙ্কিত তলকে **ফোক্‌স তল** বলে। লেন্সের ব্যাস দ্বারা লেন্সের **উন্মেষ** পাওয়া যায়।

৯৬। **সরু লেন্স** (Thin Lens): যে লেন্সের দুই তলের ব্যবধান ব্যাসার্ধের তুলনায় খুবই কম তাহাকে **সরু** লেন্স বলে। সাধারণ পরীক্ষার লেন্সগুলি এইরূপ সরু লেন্স ধরিয়া লওয়া হয়। সুতরাং সরু লেন্সে A, A′, O একস্থানে অবস্থিত ধরিয়া লওয়া হয় এবং দূরত্ব এই তিন বিন্দুর যে কোন বিন্দু হইতে মাপা যাইতে পারে। এইরূপ লেন্সের কেন্দ্রের মধ্য দিয়া কোন রশ্মি অতিক্রম করিলে ইহার আপতন পথ ও নির্গমন পথ এক রেখায় ধরিয়া লওয়া হয়। এইরূপ লেন্সে প্রধান অক্ষ ও লেন্সের ছেদ-বিন্দুকে লেন্সের কেন্দ্র ধরা হয়।

৯৭। **প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয়** (Graphical construction for images) : কোন দীপক-বিন্দু হইতে নির্গত রশ্মি লেন্সে প্রতিসরণের পর যে প্রতিবিম্ব গঠন করিবে সেই প্রতিবিম্বের অবস্থান দুইটি বিশিষ্ট রশ্মির পথ অঙ্কন করিয়া নিম্নলিখিত উপায়ে বাহির করা যায় :—

(ক) একটি রশ্মি প্রধান অক্ষের সহিত সমান্তরালে লেন্সে আপতিত হইলে প্রতিসরণের পর প্রধান ফোক্‌সের মধ্য দিয়া অতিক্রম করে কিংবা প্রধান ফোক্‌স হইতে আসে বলিয়া মনে হয়।

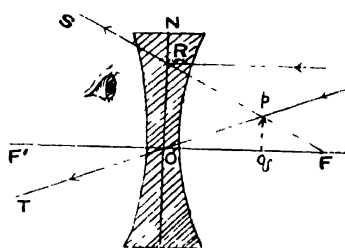
(খ) একটি রশ্মি লেন্সের কেন্দ্রের মধ্য দিয়া অতিক্রম করিলে দিক পরিবর্তন না করিয়া সোজা পথে বাহির হয়। যে বিন্দুতে এই দুই রশ্মি মিলিত হয় সেই বিন্দু দীপক-বিন্দুর প্রতিবিম্ব হয়। যদি দুই রশ্মি প্রকৃতই কোন বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হয় তবে তাহাকে **সদ্‌** প্রতিবিম্ব বলে। আর যে বিন্দু হইতে এই দুইটি রশ্মি আসে বলিয়া মনে হয় তাহাকে **অসদ্‌** প্রতিবিম্ব বলে। এইরূপ রশ্মি দুইটিকে পশ্চাতের দিকে বর্ধিত করিলে ঐ বিন্দুতে মিলিত হয়। মনে রাখিবে যে সমতলে প্রতিসরণের যে দুইটি নিয়ম খাটে গোলীয় তলেও সেই দুইটি নিয়ম খাটে ; (৩য় খণ্ড ৫৯ অনুচ্ছেদের দুইটি নিয়ম)

৯৮। **চিহ্নের নিয়ম** (Rules of sign) আপতিত রশ্মির বিপরীত দিকের দূরত্ব ধনাত্মক হয়। আপতিত রশ্মির একই দিকের দূরত্ব ঋণাত্মক হয়। লেন্সের

কেন্দ্র হইতে দূরত্ব মাপা হয়। সুতরাং উত্তল লেন্সে ফোকস দূরত্ব ঋণাত্মক আর অবতল লেন্সে ফোকস দূরত্ব ধনাত্মক।

দ্রষ্টব্য : চিহ্ন নির্ণয়ের এই নিয়ম নানা ত্রুটি পূর্ণ। ইহাতে লেন্স ও দর্পণে দূরত্বের চিহ্নের নানা বিশৃঙ্খলা ঘটে সেইজন্য ১৯৩৪ খৃষ্টাব্দে পদার্থ-বিদ্যা সমিতি (Commi.tee of Physical Society) নিম্নলিখিত চিহ্নের নূতন নিয়ম অনুমোদন করেন, যথা :—সত্যসত্যই আলোরশ্মি যে দূরত্ব (real distance) দিয়া যায় সেগুলি ধনাত্মক। আলোকরশ্মি যে দূরত্ব (virtual distance) দিয়া যায় বলিয়া মনে হয় সেই দূরত্ব ঋণাত্মক। এই নিয়ম অনুসারে উত্তল লেন্সের ফোকস দূরত্ব ধনাত্মক, অবতল লেন্সের ফোকস দূরত্ব ঋণাত্মক। এই নিয়মের সুবিধা এই যে একই সূত্র $\left(\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}\right)$ দর্পণ ও লেন্সে খাটে। কিন্তু আমরা এই পুস্তকে **পুরাতন নিয়মানুসারে** গণনা করিব।

৯৯। লেন্সের সাধারণ সূত্র (General Formula for Lenses)

(১) **অবতল লেন্স :** মনে কর NO সরু অবতল লেন্সের ছেদ, O হইল কেন্দ্র, F প্রধান ফোকস, F'Q প্রধান অক্ষ। মনে কর PQ হইল অক্ষের উপর লম্বভাবে দণ্ডায়মান একটি বস্তু। রশ্মি PR অক্ষের সহিত সমান্তরালে আপতিত হইয়া প্রতিসরণের পর RS পথে বাহির হয়। মনে হয় ইহা F হইতে আসিতেছে। সুতরাং RSকে পশ্চাৎদিকে বর্ধিত করিলে F দিয়া অতিক্রম করে। আর একটি PO রশ্মি O কেন্দ্র অতিক্রম

৯৬নং চিত্র

করিয়া একই অভিমুখে OT পথে বাহির হয়। এই দুইটি প্রতিসৃত রশ্মি পশ্চাৎদিকে বর্ধিত করিলে pতে মিশে কাজেই Pএর অসদ্ প্রতিবিম্ব হইল p। PQ বস্তুর নিম্নবিন্দু Q প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত। সুতরাং ইহার প্রতিবিম্ব প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত হইবে। যেহেতু PK অক্ষের

উপর লম্ব সেহেতু প্রতিবিম্ব অক্ষের উপর লম্ব হইবে। অক্ষের উপর pq লম্ব টান। এখন PQএর প্রতিবিম্ব pq পাওয়া যায়। এই প্রতিবিম্ব **অসদ্, সোজা** ও **ক্ষুদ্রতর** হইবে। মনে কর $OQ=u$, $Oq=v$, $OF=f$, OPQ ও Opq ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ। $\therefore \frac{PQ}{pq}=\frac{OQ}{Oq}=\frac{u}{v}$।

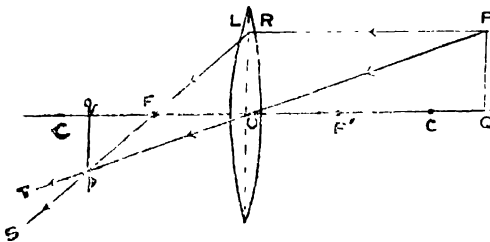
আবার RFO, pqF ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ

$\therefore \frac{RO}{pq}=\frac{OF}{qF}=\frac{f}{f-v}$ কিন্তু $RO=PQ$ $\therefore \frac{PQ}{pq}=\frac{u}{v}=\frac{f}{f-v}$

$\therefore uf-uv=vf$ বা $uf-vf=uv$

দুই দিকে uvf দিয়া ভাগ দিলে $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ ....(৩৩)

যে কোন অবতল লেন্সে বস্তুর যে কোন অবস্থানে u, v, ও f ধনাত্মক হয়। সুতরাং সাধারণ সমীকরণে চিহ্নের কোন পরিবর্তন দরকার হয় না।

(৮) **উত্তল লেন্স :** (ক) **সদ্ প্রতিবিম্ব :** (১) **বস্তু ফোকস দূরত্বের বাহিরে ;** মনে কর LO লেন্সের ছেদ, O কেন্দ্র, F ও F প্রথম ও দ্বিতীয় প্রধান ফোকস, FOF′ প্রধান অক্ষ। Fএর বাহিরে অক্ষের উপর দণ্ডায়মান লম্ব বস্তু PQ

৯৭নং চিত্র

হইতে অক্ষের সহিত সমান্তরাল PR রশ্মি Fএর মধ্য দিয়া RS পথে প্রতিসৃত হয়। P হইতে PO রশ্মি কেন্দ্র Oএর মধ্য দিয়া সোজা OT পথে প্রতিসৃত হয়। OT ও RS প্রতিসৃত রশ্মিদ্বয়ের মিলনবিন্দু p, Pএর প্রতিবিম্ব। Qর প্রতিবিম্ব প্রধান অক্ষের উপর থাকিবে। PQএর প্রতিবিম্ব অক্ষের উপর লম্ব

হইবে। p হইতে অক্ষের উপর pq লম্ব টান। $\therefore$ PQএর প্রতিবিম্ব pq, এই প্রতিবিম্ব **সদ্ ও উল্‌টা** হয়।

মনে কর $OQ=u$, $Oq=v$, $OF=f=OF'$.

PQO ও pqo ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ। $\therefore \frac{PQ}{pq}=\frac{OQ}{Oq}$

pqF ও FRO ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ $\therefore \frac{RO}{pq}=\frac{OF}{Fq}=\frac{OF}{Oq-OF}$

$RO=PQ \quad \therefore \frac{RO}{pq}=\frac{PQ}{pq} \quad \therefore \frac{OQ}{Oq}=\frac{OF}{Oq-OF} \quad \therefore \frac{u}{v}=\frac{f}{v-f}$

$\therefore uv-uf=vf$. $\therefore$ দুই দিকে uvf দিয়া ভাগ দিলে

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f},$$

এখানে প্রতিবিম্ব **সদ্** ও লেন্স উত্তল। সুতরাং v ও f দুইই ঋণাত্মক

$\therefore$ সমীকরণ $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ এইরূপ হইবে।

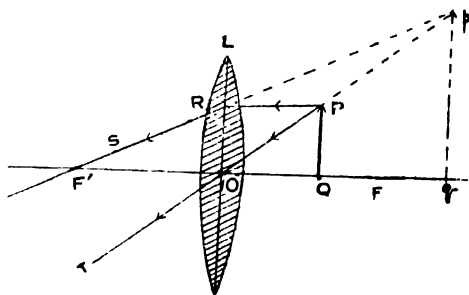
(খ) **অসদ্ প্রতিবিম্ব : বস্তু ফোকস দূরত্বের ভিতরে :** পূর্বের মত RS ও POT প্রতিসৃত রশ্মিদ্বয়কে পশ্চাৎ দিকে বর্ধিত করিলে pতে ছেদ করে। $\therefore$ PQকে অক্ষের উপর লম্ব টানিলে PQএর প্রতিবিম্ব pq হইবে। এই প্রতিবিম্ব **সদ্, সোজা ও বিবর্ধিত** হইবে।

OPQ ও Opq ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ $\therefore \frac{PQ}{pq}=\frac{OQ}{Oq}=\frac{u}{v}$। RF'O ও pF'q ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ $\therefore \frac{RO}{pq}=\frac{OF'}{qF'}=\frac{OF'}{Oq+OF'}$। $RO=PQ \; \therefore \frac{u}{v}=\frac{f}{v+f}$

$\therefore uv+uf=vf$। দুই দিকে uvf দিয়া ভাগ করিলে, $-\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ এখানে প্রতিবিম্ব অসদ্ ও লেন্স উত্তল। সুতরাং এখানে u ও v ধনাত্মক এবং f ঋণাত্মক

$\therefore$ সমীকরণ $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ এইরূপ হইবে।

অতএব সাধারণ সূত্র $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ সকল প্রকার উত্তল ও অবতল লেন্সে খাটে।

দ্রষ্টব্য ঃ ৮৬নং অনুচ্ছেদে আমরা একটি মাত্র গোলীয় তলের প্রতিসরণ হইতে v, u, μ r ও f-এর সম্পর্ক নির্ণয়ের সাধারণ সূত্র বাহির করিয়াছি। ৯৯নং অনুচ্ছেদে দুই তল বিশিষ্ট লেন্সের সাধারণ সূত্র μ r_1 ও r_2-এর সম্পর্ক হইতে বাহির করা হইয়াছে।

৯৮নং চিত্র

১০০। চিহ্ন-সংশোধন ঃ u, v, f-এর চিহ্ন মনে রাখিবে : u সব সময়েই $+$ হয়, f উত্তল লেন্সে $-$ হয় ও অবতল লেন্সে $+$ হয়, v $+$ হয় যখন বস্তু ও লেন্সের প্রতিবিম্ব একই দিকে থাকে, v $-$ হয় যখন প্রতিবিম্ব ও বস্তু লেন্সের বিপরীত দিকে থাকে।

সুতরাং অঙ্ক কষিবার সময় সাধারণ সূত্রে $\left(\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}\right)$ নিম্নলিখিত চিহ্ন সংশোধন করিবে, যথা :—

(ক) **সদ্‌** প্রতিবিম্ব উৎপন্নকারী উত্তল লেন্সে f ও v ঋণাত্মক হয়। সুতরাং সাধারণ সূত্র $\frac{1}{-v}-\frac{1}{u}=-\frac{1}{f}$ বা $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$. হইবে।

(খ) **অসদ্‌** প্রতিবিম্ব উৎপন্নকারী উত্তল লেন্সে সূত্র $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{-f}$ হইবে।

(গ) অবতল লেন্সে u, v ও f সবই ধনাত্মক সুতরাং সূত্র $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$.

১০১। অনুবন্ধ ফোকস ঃ আলোক রশ্মির পথ প্রত্যাবর্তনশীল (reversible) সুতরাং প্রতিবিম্বের (pq) স্থানে বস্তু (PQ) রাখিলে ঠিক বস্তুর স্থানে প্রতিবিম্ব

গঠিত হইবে। সুতরাং বস্তুর ও প্রতিবিম্বের স্থান বিনিময়যোগ্য। এই দুই অবস্থানকে **অনুবন্ধ ফোকস** বলে। P ও p এবং Q ও q অনুবন্ধ ফোকস।

১০২। **বিবর্ধন (Magnification) :** প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্যের ও বস্তুর দৈর্ঘ্যের অনুপাতকে লেন্সের **রৈখিক বিবর্ধন** বলে।

$$\text{বিবর্ধন } \mathbf{m} = \frac{\text{প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য}}{\text{বস্তুর দৈর্ঘ্য}} = \frac{pq}{PQ} = \frac{Oq}{OQ} = \frac{v}{u} \text{ .... (৩৪)}$$

যখন $\frac{v}{u}$ বা m ধনাত্মক হইবে তখন প্রতিবিম্ব সোজা হইবে। ৯৫নং ও ৯৬নং চিত্রে v ও u দুইই ধনাত্মক ∴ প্রতিবিম্ব সোজা হইয়াছে।

যখন $\frac{v}{u}$ বা m ঋণাত্মক তখন প্রতিবিম্ব উল্টা হইবে। ৯৭নং চিত্রে v ঋণাত্মক।

∴ $\frac{v}{u}$ ঋণাত্মক সেইজন্য প্রতিবিম্ব উল্টা হইয়াছে। লক্ষ্য কর লেন্স ও দর্পণে এই বিষয়ের পার্থক্য দেখা যায়।

১০৩। **m এবং u, v ও f-এর সম্পর্ক :** সাধারণ সূত্র $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$.

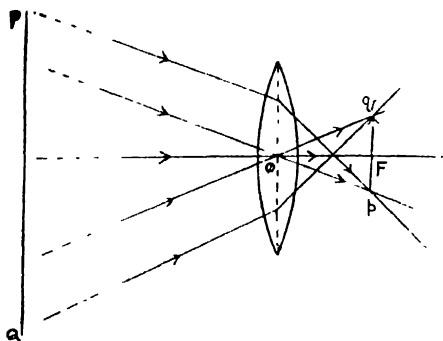
(ক) প্রত্যেক রাশিকে v দিয়া গুণ করিলে,

$$1 - \frac{v}{u} = \frac{v}{f} \qquad \therefore \quad m = \frac{v}{u} = 1 - \frac{v}{f} = \frac{f - v}{f}$$

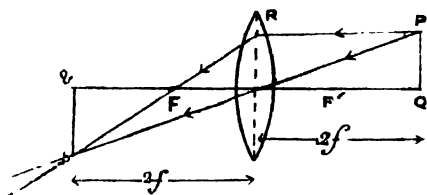
(b) প্রত্যেক রাশিকে u দিয়া গুণ করিলে,

$$\frac{u}{v} - 1 = \frac{u}{f} \qquad \therefore \quad m = \frac{v}{u} = \frac{f}{f + u}.$$

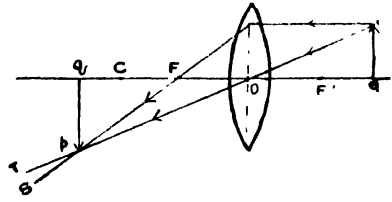
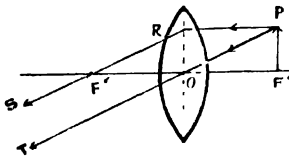
১০৪। **প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও আকৃতি ঃ** লেন্স হইতে বস্তুর দূরত্বের উপর প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও আকৃতি নির্ভর করে। বস্তু বহুদূর হইতে অক্ষ বরাবর লেন্সের গায়ে আসিলে প্রতিবিম্বের যে পরিবর্তন হয় তাহা চিত্রের দ্বারা দেখান যায়।

(ক) উত্তল লেন্স! **(১) বস্তু অসীমে অবস্থিত ঃ** মনে PQ বস্তু অসীমে অবস্থিত। বস্তুর P ও Q প্রান্ত হইতে নির্গত দুইটি সমান্তরাল রশ্মি-গুচ্ছ প্রধান অক্ষের সহিত সামান্য কোণে আনত (inclined) হইয়া প্রতিসরণের পর ফোকস তলে যথাক্রমে p ও q বিন্দুতে মিলিত হয়। অতএব PQর প্রতিবিম্ব pq. প্রতিবিম্ব সদ্, উল্‌টা ও অত্যন্ত ছোট হয়। এখানে f ঋণাত্মক $-\frac{1}{f}$। এখানে $u =$ $\therefore v = -f$। অর্থাৎ প্রতিবিম্ব প্রধান ফোকসে গঠিত হয়। $m = \frac{v}{u} = \frac{v}{\infty}$ ∴ প্রতিবিম্ব উল্‌টা. সদ্ ও খুব ছোট হয়।

৯৯নং চিত্র

(২) বস্তু অসীম ও 2f এর মাঝে ঃ ৯৭নং চিত্রে PQ বস্তু। PR ও PO রশ্মি প্রতিসরণের পর RS ও OT পথে গমন করে। RS ও OT রশ্মির মিলন-বিন্দু p এবং P′Q′র প্রতিবিম্ব হইল pq। প্রতিবিম্ব pq, f ও $2f$এর মাঝামাঝি গঠিত হয় এবং প্রতিবিম্বটি সদ্, উল্‌টা ও ক্ষুদ্রতর হয়। ছবি তোলার ক্যামেরায় দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষে T (objective) দূরবর্তী বৃহৎ বস্তুর ক্ষুদ্র প্রতিবিম্ব গঠন করিতে উত্তল লেন্স এই অবস্থানে ব্যবহৃত হয়।

(৩) বস্তু 2fতে অবস্থিত ঃ PQ বস্তু, PR ও PO রশ্মি যথাক্রমে প্রতিসরণের পর RS ও OT পথে গমন করে। এই রশ্মিদ্বয় অভিসারী হয়। এই দুই রশ্মির মিলন বিন্দু p, Pএর প্রতিবিম্ব। PQর প্রতিবিম্ব pq। প্রতিবিম্ব সদ্,

১০০নং চিত্র

উল্টা ও বস্তুর সহিত সমান আকৃতির হয়। সাধারণ সূত্রে $u = 2f$ রাখিলে $v = -2f$ হয়। অর্থাৎ প্রতিবিম্ব লেন্সের অপর ধারে $2f$এ গঠিত হয়। আবার $m = \frac{-2f}{f} = -1$ সুতরাং প্রতিবিম্ব উল্টা ও বস্তুর আকৃতির সমান হয়। এইরূপ লেন্স ভৌম দূরবীক্ষণে (Terrestrial Telescope) ব্যবহৃত হয়।

(৪) **বস্তু 2f এবং fএর মধ্যে অবস্থিত :** PQ বস্তু। পূর্বের মত আঁকিলে লেন্সের অপর দিকে $2f$এর বাহিরে প্রতিবিম্ব pq গঠিত হয়। প্রতিসৃত রশ্মি অভিসারী হয়। প্রতিবিম্ব সদ্, উল্টা ও বিবর্ধিত হয়। ম্যাজিক লণ্ঠনে ও অনুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যে নিকটস্থ ক্ষুদ্র বস্তুর বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব উৎপন্ন করিতে এইরূপ অবস্থানে উত্তল লেন্স ব্যবহৃত হয়।

১০১নং চিত্র

(৫) **বস্তু প্রধান ফোকাসে অবস্থিত :** বস্তু PF প্রধান ফোকাসে অবস্থিত। P হইতে PR ও PO রশ্মি প্রতিসরণের পর সমান্তরালে চলিয়া গিয়া অসীমে **প্রতিবিম্ব** গঠন করে। প্রতিসৃত রশ্মি সমান্তরাল হয়। সেইজন্য প্রতিবিম্ব সদ্ ও অত্যন্ত বিবর্ধিত হয়। এখানে সাধারণ সূত্রে $u = f$ রাখিলে $\frac{1}{v} = 0$ হয় $\therefore v = \infty$ সুতরাং প্রতিবিম্ব অসীমে গঠিত হয়। $m = \frac{v}{u} = \infty$ সুতরাং প্রতিবিম্ব অত্যন্ত বড়, সদ্ ও উল্টা হয়।

১০২নং চিত্র

(৬) **বস্তু f ও লেন্সের মধ্যে অবস্থিত :** ৯৮নং চিত্রে PQ বস্তু OF-এর মধ্যে অবস্থিত। প্রধান অক্ষের সমান্তরাল PR রশ্মি ও PO রশ্মি RS ও OT পথে প্রতিসৃত হয়। RS ও OT রশ্মিদ্বয় প্রতিসরণের পর

প্রকৃতপক্ষে মিলিত হয় না—অর্থাৎ ইহার অপসারী রশ্মি হয় কিন্তু তাহাদিগকে পশ্চাৎদিকে বর্ধিত করিলে ইহারা pতে মেশে সুতরাং Pএর প্রতিবিম্ব p হয়। অক্ষের উপর pq লম্ব টান। PQ-এর প্রতিবিম্ব pq হইল। সুতরাং প্রতিবিম্ব অসদ্, সোজা ও বিবর্দ্ধিত হয়। চশমা, বিবর্ধক (magnifying) কাচ এবং দূরবীক্ষণ ও অনুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিনেত্রে (eye-piece) অসদ বিম্ব সৃষ্টি করিবার জন্য লেন্স এই অবস্থানে ব্যবহৃত হয়।

(খ) **অবতল লেন্স** : ৯৬নং চিত্রে NO একটি লেন্সের ছেদ। PQ প্রধান অক্ষের যে কোন স্থানের উপর অবস্থিত বস্তু। PR ও PO রশ্মি যথাক্রমে RS ও OT পথে প্রতিসৃত হয়। ইহারা মিলিত হয় না। অর্থাৎ ইহারা অপসারী রশ্মি হয়। কিন্তু RSকে পশ্চাৎদিকে বর্ধিত করিলে PT রশ্মিকে p বিন্দুতে ছেদ করে সুতরাং Pএর প্রতিবিম্ব p হয়। এই দুইটী রশ্মি p হইতে আসে বলিয়া মনে হয়। এই প্রতিবিম্ব বস্তুর সহিত লেন্সের একই দিকে অবস্থিত হয়। $\therefore m = \frac{v}{u}$ এই সমীকরণে v ও u সব সময়েই ধনাত্মক হয়। $\therefore$ প্রতিবিম্ব সব সময়েই সোজা ও অসদ্ হয়।

যেহেতু $\frac{1}{v} > \frac{1}{u}$ $\therefore v < u$ এবং $m <$ । $\therefore$ প্রতিবিম্ব সব সময়েই ক্ষুদ্রতর হয়। বস্তুকে যত লেন্সের দিকে সরান যায় প্রতিবিম্বের আকৃতি ততই বড় হয় কিন্তু সর্বক্ষেত্রেই বস্তু অপেক্ষা প্রতিবিম্বের আকার ছোট থাকে।

সারাংশ—উত্তল লেন্স

বস্তুর অবস্থান	চিত্র	প্রতিবিম্ব		
		অবস্থান	আকার	প্রকৃতি
অসীমে	৯৯নং	প্রধান ফোকাসে	ক্ষুদ্রতর	সদ্, উল্টা
অসীম ও ২/এর মধ্যে	৯৭নং	/ ও ২/এ-র মধ্যে	"	" "
২/এ	১০০নং	২/-এ	সমান	" "
২/ ও /এর মধ্যে	১০১নং	∞ ও ২/এর মধ্যে	বৃহত্তর	" "
/এ	১০২নং	অসীমে	খুব বৃহত্তর	" "
/এর কম	৯৮নং	বস্তুর একই দিকে	বৃহত্তর	অসদ্ সোজা

অবতল লেন্স

অসীমে	৯৬নং	/-এ	ক্ষুদ্রতর	অসদ্ সোজা
অসীম ও লেন্সের মধ্যে		/ ও লেন্সের মধ্যে	"	

দ্রষ্টব্য : মনে রাখিবে : (১) অসীম ও / এর মাঝে বস্তু যে কোন স্থানে থাকুক না কেন প্রতিবিম্ব সদ্ ও উল্টা হয়। (২) বস্তু অসীম ও ২/এর মাঝে থাকিলে প্রতিবিম্ব বিবর্ধিত হয়। (৩) বস্তু ২/এ থাকিলে প্রতিবিম্ব ও বস্তু এক আকারের হয়। (৪) বস্তু / ও লেন্সের মাঝে থাকিলে প্রতিবিম্ব অসদ্ ও বিবর্ধিত হয়। যতই বস্তু লেন্সের কাছে যাইতে থাকে ততই প্রতিবিম্ব ছোট হইতে থাকে। লেন্সের গায়ে বস্তু লাগিলে প্রতিবিম্ব বস্তুর সমান হয়। (৫) উভয় লেন্সে বস্তু ও প্রতিবিম্ব একই দিকে অক্ষ বরাবর যায়। (৬) লেন্সে ২/ ও r সমান হয় না।

অঙ্ক ঃ The real image formed by a lens is twice the size of the object and 18 c.m. from it. Find the focal length of the lens. Deduce the distance between the object and the image when the image is half the size of the object. (C. U. 1947)

লেন্সে সদ্ প্রতিবিম্ব গঠিত হইয়াছে সুতরাং লেন্স উত্তল ও f ঋণাত্মক।

(ক) $m=-\frac{v}{u}$. এখানে $m=২$, $u=১৮$ সেঃ মিঃ $\therefore$ $v=-৩৬$ সেঃমিঃ

$$\frac{১}{v}-\frac{১}{u}=\frac{১}{f} \quad \therefore f=-১২ \text{ সেঃ মিঃ}$$

(খ) $m=\frac{১}{২}$ $\therefore$ $-\frac{v}{u}=\frac{১}{২}$ $\therefore$ $v=-৯$ সেঃ মিঃ

$$\therefore \quad u-v=১৮-(-৯)=২৭ \text{ সেঃ মিঃ}$$

2. An object is 60 c m. in front of a lens, the image being 300 c.ms. on the other side of a lens. Calculate the displacement of the image when the object is moved 20 c.ms. (*a*) nearer to the lens, (*b*) away from the lens. (C. U. 1929)

লেন্সের সূত্র $\frac{১}{v}-\frac{১}{u}=\frac{১}{f}$. $u=৬০$ সেঃ মিঃ,

$v=-৩০০$ সেঃ মিঃ, f কত ?

$$-\frac{১}{৩০০}-\frac{১}{৬০}=\frac{১}{f} \quad \therefore f=-৫০ \quad \therefore \text{ লেন্সটি উত্তল।}$$

(*a*) এখানে $u=৬০-২০=৪০$ সেঃ মিঃ $\therefore$ $\frac{১}{v}-\frac{১}{৪০}=-\frac{১}{৫০}$

$\therefore$ $v=২০০$ সেঃ মিঃ (লেন্সের একই দিকে)

$\therefore$ প্রতিবিম্ব $৩০০+২০০=৫০০$ সেঃ মিঃ সরিবে।

(*b*) এখানে $u=৬০+২০=৮০$ সেঃ মিঃ $\therefore$ $\frac{১}{v}-\frac{১}{৮০}=-\frac{১}{৫০}$

$\therefore$ $v=-\frac{৪০০}{৩}=-১৩৩\frac{১}{৩}$ সেঃ মিঃ (লেন্সের বিপরীত দিকে)

$\therefore$ প্রতিবিম্ব $৩০০-১৩৩\frac{১}{৩}=১৬৬\frac{২}{৩}$ সেঃ মিঃ সরিবে।

3. A circular disc 1 inch in diameter is placed at a distance of 2 ft. from a convex lens of 1 ft. focal length. Where and of what size will the image be? (D. U. 1928)

এখানে u = ২ ফুট = ২৪ ইঃ ∴ f = − ১ ফুঃ = − ১২ ইঃ কারণ লেন্স উত্তল।

সাধারণ সূত্রে u = ২৪, f = − ১২ রাখিলে আমরা পাই $\frac{1}{v} = \frac{1}{u} + \frac{1}{f} = \frac{১}{২৪} - \frac{১}{১২}$

$= -\frac{১}{২৪}$ ∴ v = − ২৪ ইঃ ∴ প্রতিবিম্ব বস্তুর বিপরীত দিকে গঠিত হয়।

∴ প্রতিবিম্ব সদ্ হয়।

$m = \frac{v}{u} = \frac{২৪}{২৪} = -১$ ∴ প্রতিবিম্ব ও বস্তু একই আকারের হয়।

4. Two convex lenses of focal lengths 3 inches and 4 inches respectively are placed at a distance of 6 inches apart and a luminous object 1 inch high is situated on the common axis of the lenses at a distance of 4 inches in front of the lens of smaller focal length. Find the position, nature and size of the image. (Pat. U. 1927)

ছোট উত্তল লেন্সের জন্য u = ৪, f = − ৩, v = কত?

$\frac{১}{v} - \frac{১}{৪} = -\frac{১}{৩}$ ∴ v = ১২ ইঃ এই প্রতিবিম্ব দ্বিতীয় লেন্সের পক্ষে বস্তুর কাজ করে। দুই লেন্সের মধ্যে দূরত্ব ৬ ইঃ।

∴ দ্বিতীয় লেন্স হইতে বস্তুর দূরত্ব $u = v +$ ৬ = − ১২ + ৬ = − ৬ ইঃ।

মনে কর দ্বিতীয় প্রতিবিম্বের দূরত্ব v' ∴ $\frac{১}{v'} - \frac{১}{-৬} = -\frac{১}{৪}$ ∴ v = − ২$\frac{২}{৫}$ ইঃ। দ্বিতীয় প্রতিবিম্ব দ্বিতীয় লেন্সের ২$\frac{২}{৫}$ ইঃ দূরে এবং সদ্ ও উল্টা হয়।

প্রথম লেন্স দ্বারা বিবর্ধন $m = \frac{v}{u} = \frac{১২}{৪} = ৩$, দ্বিতীয় লেন্স দ্বারা বিবর্ধন $= \frac{\frac{১২}{৫}}{৬} = \frac{২}{৫}$

∴ মোট বিবর্ধন = ৩ × $\frac{২}{৫}$ = $\frac{৬}{৫}$ = ১$\frac{১}{৫}$ ∴ প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য = ১$\frac{১}{৫}$"।

5. A convex and a concave lens each 10 inches in focal length are held co-axially at a distance of 3 inches apart. Find the position of the image if the object is at a distance of 15 inches beyond (*a*) the convex and (*b*) the concave lens. (Pat. 1928)

(*a*) এখানে $u=+১৫$ ইঃ, $f=-১০$ইঃ, $v=$ কত ?

$\frac{১}{v}-\frac{১}{১৫}=-\frac{১}{১০}$ বা $v=-৩০$ ইঃ

দুই লেন্সের মধ্যে দূরত্ব = ৩ ইঃ ∴ প্রতিবিম্ব অবতল লেন্স হইতে অপর দিকে ২৭ ইঞ্চি দূরে গঠিত হয়।

এই প্রতিবিম্ব অবতল লেন্সের পক্ষে বস্তুর কাজ করে এবং অবতল লেন্স হইতে ইহার দূরত্ব $(u')=u+৩=-৩০+৩=-২৭$, $\frac{১}{v'}-\frac{১}{-২৭}=\frac{১}{১০}$

∴ $v'=+১৫\frac{১৫}{১৭}$ ইঃ ∴ প্রতিবিম্ব লেন্সের যে দিকে অবস্থিত বস্তু সেই দিকে $১৫\frac{১৫}{১৭}''$ দূরে গঠিত হয়।

(*b*) এখানে $u=+১৫$ ইঃ, $f=+১০$ ইঃ, $v=$ কত ?

$\frac{১}{v}-\frac{১}{১৫}=\frac{১}{১০}$ ∴ $v=৬$ ইঃ সুতরাং অবতল লেন্স হইতে ৬ ইঃ দূরে অসদ্ প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। ইহাই উত্তল লেন্সের পক্ষে বস্তুর কাজ করে ∴ বস্তুর দূরত্ব $=৬+৩=৯$ ইঃ, $f=-১০$ ইঃ। সুতরাং $\frac{১}{v'}-\frac{১}{৯}=-\frac{১}{১০}$ ∴ $v'=+৯০$ ইঃ

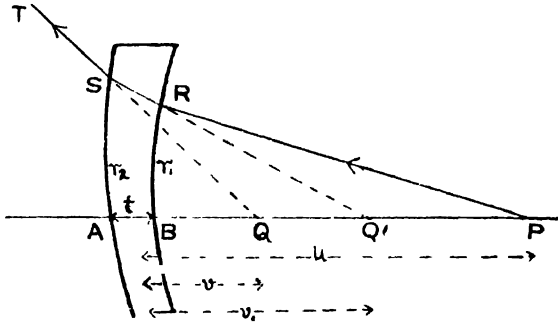
সুতরাং উত্তল লেন্সের সম্মুখে ৯০ ইঃ দূরে অসদ্ প্রতিবিম্ব গঠিত হয়।

১০৫। লেন্সের (অর্থাৎ দুই তল বিশিষ্ট প্রতিসরণতলের) মধ্য দিয়া প্রতিসরণ ঃ সাধারণ সূত্রের নির্ণয় (Direct Deduction of the Formula) **: নীতি ঃ** লেন্সে মোট প্রতিসরণ = দুই তলে দুইবার প্রতিসরণ। অর্থাৎ যখন কোন আলোক রশ্মি লেন্সের মধ্য দিয়া যায় তখন রশ্মি প্রথমে বায়ু হইতে কাচে প্রতিসৃত হয় এবং তৎপরে কাচ হইতে পুনরায় বায়ুতে প্রতিসৃত হয়।

মনে কর AB একটি কাচের উভাবতল লেন্স, AP অক্ষের উপর P একটি দীপক-বিন্দু, BR ও AS দুই তলের বক্রতা-ব্যাসার্ধ যথাক্রমে r_1 ও r_2 এবং μ কাচ হইতে বায়ুতে প্রতিসরাঙ্ক। মনে কর P হইতে নির্গত আলোক রশ্মির

BR তলে প্রতিসরণের জন্য Pএর অসদ্ প্রতিবিম্ব Q' অক্ষের উপর গঠিত হইল। মনে কর $PB = u$, $Q'B = v_1$.

∴ সমীকরণ অনুসারে $\frac{\mu}{v_1} - \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{r_1}$ ....(ক)

এখন অসদ্ প্রতিবিম্ব Q' দ্বিতীয় তল ASর পক্ষে বস্তুর কাজ করে। মনে কর Q' হইতে নির্গত আলোক রশ্মির AS তলে প্রতিসরণের জন্য Q' এর

১০৩নং চিত্র

প্রতিবিম্ব Q অক্ষের উপর গঠিত হইল। আমরা ধরিয়া লইয়াছি লেন্স খুব পাতলা। সুতরাং লেন্সের বেধ (thickness) AB নগণ্য। বস্তু বা প্রতিবিম্বের দূরত্ব A বা B হইতে মাপিতে পারি। ∴ দ্বিতীয় প্রতিসরণে কাচ হইতে বায়ুতে প্রতিসরাঙ্ক $= \frac{1}{\mu}$, এবং AS তল হইতে বস্তু Q'এর দূরত্ব $= v_1$ ও মনে কর প্রতিবিম্ব Qএর দূরত্ব $= v$,

$$\frac{\frac{1}{\mu}}{v} - \frac{1}{v_1} = \frac{\frac{1}{\mu} - 1}{r_2}$$ ∴ প্রত্যেক রাশিকে μ দিয়া গুণ করিয়া

$\frac{1}{v} - \frac{\mu}{v_1} = \frac{1 - \mu}{r_2}$। (ক) ও (খ) যোগ করিয়া $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$ ...(৩৫)

যখন বস্তু অসীমে থাকিবে তখন প্রতিবিম্ব প্রধান ফোকসে গঠিত হইবে

অর্থাৎ যদি ফোকস দূরত্ব $=f$ হয় তবে যখন $u=\infty$ তখন $v=f$ হয় বা $\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$

এবং $\frac{1}{u}=\frac{1}{\infty}=0,\ \frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$ .... (৩৬)

$\therefore$ (৩৫) ও (৩৬) হইতে $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$.

(ক) **উভোত্তল লেন্সের** r_1 ঋণাত্মক, r_2 ধনাত্মক

$\therefore\ \frac{1}{f}=-(\mu=1)\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}\right)\quad\therefore\ f$ ঋণাত্মক

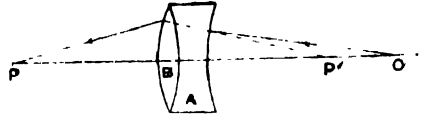
(খ) **উভাবতল লেন্সের** r_1 ধনাত্মক, r_2 ঋণাত্মক,

$\therefore\ \frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}\right)\quad\therefore\ f$ ধনাত্মক।

১০৬। **লেন্সের বর্ধনাঙ্ক** (Power of a lens): আমরা দেখিয়াছি লেন্সে আপতিত রশ্মি প্রতিসরণের পর বাঁকিয়া যায়। এই প্রতিসৃত রশ্মি উত্তল লেন্সে অভিসারী বা অবতল লেন্সে অপসারী হইতে পারে। লেন্সের দ্বারা আপতিত রশ্মি প্রতিসরণের পর যে পরিমাণে অভিসারী বা অপসারী হয় সেই পরিমাণকে লেন্সের **বর্ধনাঙ্ক** বলে। অক্ষের সহিত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছের বেলায় প্রধান ফোকস লেন্সের মধ্য-বিন্দুর যত কাছে থাকিবে অর্থাৎ ফোকস দূরত্ব f যত ছোট হইবে রশ্মির অভিসারিত্বের (convergence) বা অপসারিত্বের (divergence) বক্রতার পরিমাণ তত বাড়িবে। সুতরাং ফোকস দূরত্বের বিপরীত সংখ্যা $\frac{১}{f}$ (reciprocal) দ্বারা লেন্সের বর্ধনাঙ্ক প্রকাশ করা হয়। এক-মিটার ফোকস দূরত্ব বিশিষ্ট লেন্সের বর্ধনাঙ্ককে বর্ধনাঙ্কের **একক** (Unit power) ধরা হয়। ইহাকে **Dioptre** (D) বলে। চক্ষু চিকিৎসকগণ উত্তল লেন্সের বর্ধনাঙ্ককে ধনাত্মক ও অবতল লেন্সের বর্ধনাঙ্ককে ঋণাত্মক বলিয়া গণ্য করেন কিন্তু পদার্থ বিদ্যার চিহ্নের নিয়মানুযায়ী উত্তল লেন্সে f ঋণাত্মক, অবতল লেন্সে ধনাত্মক। সুতরাং লেন্সের বর্ধনাঙ্কের চিহ্ন ফোকস দূরত্বের চিহ্নের বিপরীত হয়। অতএব ফোকস দূরত্বকে মিটারে প্রকাশ করিয়া উহার বিপরীত সংখ্যা

লইয়া চিহ্ন পরিবর্তন করিলে লেন্সের বর্ধনাঙ্ক পাওয়া যায়। ২৫ সেঃ মিঃ ফোকস দূরত্বের অবতল লেন্সের বর্ধনাঙ্ক হইবে $\frac{১}{¼}$ = −৪D। ৫০ সেঃ মিঃ ফোকস দূরত্বের উত্তল লেন্সের বর্ধনাঙ্ক হইবে = 2D. "চশমার বর্ধনাঙ্ক −2D" বলিলে বুঝায় যে চশমাটি একটি অবতল লেন্স যাহার ফোকস দূরত্ব = ½ × ১০০ = ৫০ সেঃ মিঃ।

১০৭। **যুক্ত লেন্স** (Combined Lenses) : আমবা একটি গোলীয় তলে ও দুইটি গোলীয় তলে লেন্সে প্রতিসরণের বিষয় আলোচনা করিয়াছি। এবার একসঙ্গে দুইটি জোড়া লেন্সে প্রতিসবণের বিষয় আলোচনা করিব।

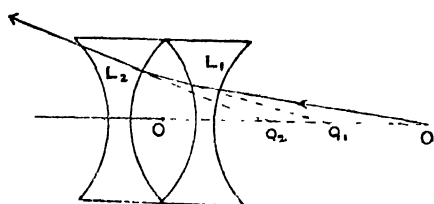
(ক) মনে কর f_1 ও f_2 ফোকস-দূরত্ব বিশিষ্ট দুইটি সরু লেন্স A ও B এক সঙ্গে জোড়া আছে। মনে কর A উভাবতল ও B উভোত্তল লেন্স। মনে কর প্রধান অক্ষ OPর উপর O একটি দীপক-বিন্দু এবং প্রথম লেন্স Aর মধ্য দিয়া প্রতিসরণেব পব Oএব প্রতিবিম্ব P′ হয়। যদি u = লেন্স A হইতে দীপক Oএব দূবত্ব হয় এবং v_1 = লেন্স A হইতে প্রতিবিম্ব P′ এর দূরত্ব হয় তবে $\frac{1}{v_1} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1}$ .... (ক)

১০৪নং চিত্র

P′ এখন দ্বিতীয় লেন্স Bর পক্ষে দীপক-বিন্দুর কাজ করে। মনে কর B লেন্সের জন্য P′এর প্রতিবিম্ব P হয়। লেন্স দুইটি সরু বলিয়া B হইতে P′এর দূরত্ব = v_1 ধরা যাইতে পারে।

যদি PB = v হয় তবে $\frac{1}{v} - \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_2}$ ....(খ)

(ক) ও (খ) যোগ করিয়া আমরা পাই $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$

মনে কর A ও B একত্রে এমন একটি লেন্সের সমান ধরা যাইতে যাহার ফোকস দূরত্ব = F হয় তবে $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{F}$ যেখানে u = এইরূপ একটি লেন্স হইতে দীপকের দূরত্ব ও v = প্রতিবিম্বের দূরত্ব।

$$\therefore \quad \frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2} \quad \cdots (৩৭)$$

১০৫নং চিত্র

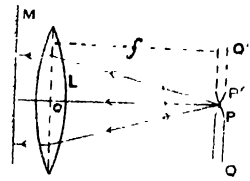
(খ) মনে কর L_1 ও L_2 দুইটি উভাবতল লেন্স সংস্পর্শে আছে। দুই লেন্সের ফোকস-দূরত্ব যথাক্রমে f_1 ও f_2। মনে কর O দীপক-বিন্দু। প্রথম লেন্স L_1-এর দরুণ Oএর প্রতিবিম্ব হইল Q_1 দ্বিতীয় লেন্স L_2এর দরুণ Q_1এর প্রতিবিম্ব হইল Q_2। পূর্বের মতন দেখান যায় $\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$.

এই গণনা হইতে নিম্নলিখিত বিষয়গুলি পাই :—

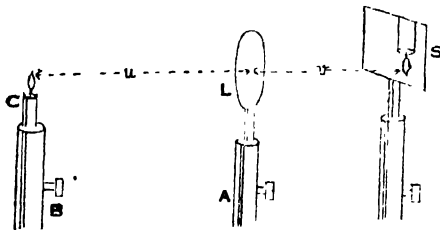
(১) যদি দুইটি যুক্ত লেন্সের অবস্থানে একটি এমন লেন্স বসান যায় যে শেষ প্রতিবিম্বের জায়গায় অর্থাৎ Pএর (১০৪ চিত্রে) জায়গায় বস্তু Oএর একটা প্রতিবিম্ব উৎপন্ন করে তবে শেষোক্ত একটি লেন্সকে **তুল্য** (Equivalent) লেন্স বলে।

(২) দুইটি যুক্ত লেন্সের মোট বর্তনাঙ্ক উহাদের বর্তনাঙ্কের যোগফল।

১০৮। **লেন্সের ফোকস দূরত্ব নির্ণয় :** (Determination of the focal length of the lens) : (১) **উত্তল লেন্স :** (ক) **সাধারণ পদ্ধতি** (Direct Method) : সূর্যের দিকে লেন্স ধরিয়া বিপরীতদিকে যেখানে আলোক রশ্মি কেন্দ্রীভূত হয় অর্থাৎ যেখানে সূর্যের একটি উজ্জ্বল ছোট প্রতিবিম্ব পাওয়া যায় লেন্স হইতে সেখানকার দূরত্ব মাপিলে f পাওয়া যায় কারণ বহুদূরের সূর্য হইতে আগত আলোক রশ্মিকে সমান্তরাল ধরা হয়। সমান্তরাল রশ্মি প্রধান ফোকসে কেন্দ্রীভূত হয়।

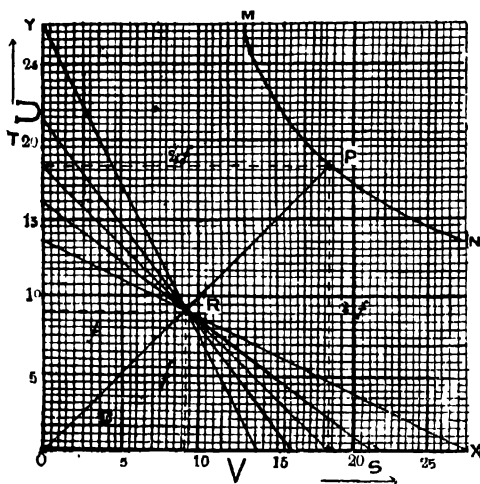
(খ) সমতল দর্পণ পদ্ধতি (Plane Mirror Method) : লেন্স Lএর সামনে একটি পিন PQ এমনভাবে বন্ধনীতে (clamp) রাখ যাহাতে পিনের মাথা P লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর থাকে। লেন্সের পিছনে লম্বভাবে একটি সমতল দর্পণ M রাখ। এখন PQ পিনকে অগ্র-পশ্চাৎ সরাইয়া PQ অবস্থানে আন যাহাতে PQ ও ইহার উল্টা প্রতিবিম্ব P′Q′ এর মধ্যে কোন লম্বন (parallax) না থাকে। এখন P হইবে প্রধান ফোকস ও PO = f. কারণ P প্রধান ফোকসে অবস্থিত বলিয়া P হইতে রশ্মিগুচ্ছ লেন্সে আপতিত হইয়া প্রতিসরণের পর অক্ষের সহিত সমান্তরাল হইবে। এই সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ M দর্পণে অভিলম্বভাবে আপতিত হইয়া অভিলম্বভাবেই প্রতিফলিত হইয়া লেন্সের মধ্য দিয়া পুনরায় Pতে কেন্দ্রীভূত হইবে। সুতরাং PO = f.

১০৬নং চিত্র

আবার PO = PO′ + ½ লেন্সের বেধ। লেন্স হইতে দর্পণের দূরত্ব কম বেশী হইলে ফল একই হইবে।

(গ) u-v পদ্ধতি : A দণ্ডে L একটি লেন্স, B দণ্ডে C একটি বাতির শিখা, D দণ্ডে S একটি সাদা পর্দা। C শিখাকে লেন্সের অক্ষের উপর আন। পর্দা অগ্র পশ্চাৎ সরাও যাহাতে C এর উজ্জ্বল ও উল্টা প্রতিবিম্ব পর্দায় পড়ে। লেন্স হইতে Cএর ও প্রতিবিম্বের দূরত্ব মাপ। মনে কর উহারা u ও v।

১০৭নং চিত্র

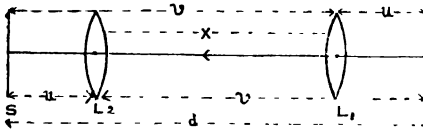
$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ এই সমীকরণে u ও v এর মান দিয়া f বাহির কর। v এখানে ঋণাত্মক। Cএর দূরত্ব বদলাইয়া কয়েক বার f বাহির কর। f এর গড় মান গণনা কর। C ও S এর বদলে দুইটি পিন লইয়া এই পরীক্ষা করা যায়।

(ঘ) ছক হইতে f : (১) একই স্কেলে u এর মানকে কোটি ও v এর মানকে ভুজ ধরিয়া ছক টান। ছক MN পরাবৃত্ত হইবে। X বা Y অক্ষের সহিত ৪৫° কোণ করিয়া মূলবিন্দু O হইতে OP রেখা টান। P হইতে X বা Y অক্ষের উপর খাড়া দূরত্ব PS বা PT $= 2f$ হয়।

(২) u ও v এর মান যথাক্রমে OY ও OX অক্ষ বরাবর স্কেল অনুযায়ী লিখ। দুই অক্ষের আনুসঙ্গিক বিন্দুগুলি সরল রেখা দ্বারা যোগ কর। এই

১০৮নং চিত্র

রেখাগুলি Rবিন্দুতে ছেদ করিবে। মাপিলে দেখা যাইবে ∠ROX বা ∠ROY $=$ ৪৫°. R হইতে যে কোন অক্ষের উপর লম্ব টানিলে ইহা প্রমাণ করা যায় লম্ব $= f$ হইবে।

(৩) $\frac{1}{u}$ কে ও $\frac{1}{v}$ কে যথাক্রমে কোটি ও ভুজ ধরিয়া ছক টানিলে ছকটি সরল রেখা হইবে। ছকটি যে বিন্দুতে প্রত্যেক অক্ষকে ছেদ করিবে মূলবিন্দু O হইতে সেই বিন্দুর দূরত্ব $= \frac{1}{f}$ হয়।

(ঙ) **সরণ পদ্ধতি (Displacement Method) : পরীক্ষা :** মনে কর S একটি পর্দা, PQ একটি বস্তু এবং L_1 একটি উত্তল লেন্স এবং লেন্সের দূরত্ব $= f$. এখন যদি PQ হইতে $4f$ এর চেয়ে বেশী একটি নির্দিষ্ট দূরত্ব dতে Sকে রাখা হয় তবে এই দূরত্বের মধ্যে লেন্সকে সরাইলে লেন্সের দুইটি অবস্থান পাওয়া যাইবে যেখান হইতে পর্দায় PQর দুইটি উজ্জ্বল উল্টা ও সদ্ প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। মনে কর পর্দা ও বস্তুকে নির্দিষ্ট দূরত্ব dতে রাখিয়া লেন্সের L_2 ও L_1 অবস্থান পাওয়া গেল। যদি $L_1 L_2 = x$ হয় তবে নিম্নলিখিত উপায়ে প্রমাণ করা যায় যে $f = \frac{d^2 - x^2}{4d}$. সুতরাং যদি d ও x মাপা যায় তবে f পাওয়া যায়।

১০৮নং চিত্র

প্রমাণ : আমরা জানি $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$ যখন উত্তল লেন্সে সদ্ প্রতিবিম্ব হয়।

$\therefore$ লেন্সের প্রথম L_1 অবস্থানে $uv = f(u+v) = fd$ ······(ক)

$\therefore$ লেন্সের দ্বিতীয় L_2 অবস্থানে যখন লেন্সকে x দূরত্ব বামদিকে সরান হয় তখন লেন্স হইতে বস্তুর দূরত্ব $= u + x$, প্রতিবিম্বের দূরত্ব $= v - x$

$$\therefore \ (u+x)(v-x) = fd \text{ বা } uv + (v-u)x - x^2 = fd$$

বা $(v-u)x - x^2 = 0$ কারণ (ক) হইতে $uv = fd$ পাই।

$\therefore$ $x = v - u$ কিন্তু গণিত অনুসারে $(v-u)^2 = (v+u)^2 - 4uv$

আমরা জানি $u + v = d$, $uv = fd$.

$$x^2 = d^2 - 4fd. \qquad f = \frac{d^2 - x}{4d}$$

দ্রষ্টব্য : (ক) $x^2 = d^2 - 4fd$ $\therefore$ $x = \sqrt{d^2 - 4fd}$; xকে ধনাত্মক হইতে হইলে $d^2 > 4fd$ কিংবা $d > 4f$ হইতে হইবে অর্থাৎ পর্দা ও বস্তুর দূরত্ব $4f$ এর চেয়ে বেশী হইতে হইবে।

(গ) দুইটি প্রতিবিম্ব এক হইলে $x=0$ হইবে তখন $f=\frac{d^2}{4d}=\frac{d}{4}$ $\therefore$ $d=4f$.

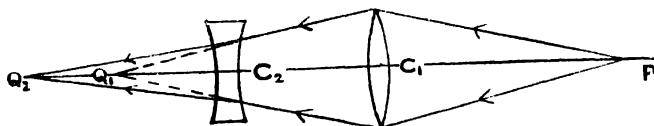
$\therefore$ দুইটি প্রতিবিম্ব পাইতে হইলে $d>4f$ হইতে হইবে।

(২) **অবতল লেন্স ঃ (ক) যুক্ত লেন্স পদ্ধতি ঃ** অবতল লেন্সের প্রতিবিম্ব সব সময়েই অসদ্ হয় সেইজন্য ইহা পর্দায় পাওয়া যায় না। পর্দায় সদ্ প্রতিবিম্ব পাইবার জন্য অবতল লেন্সেব সঙ্গে বেশী বর্ধনাঙ্ক (power) বিশিষ্ট একটি উত্তল লেন্স জুড়িতে হয় যাহাতে যুক্ত লেন্সদ্বয় উত্তল লেন্সের মত ব্যবহার করে। (১০৭ অনুচ্ছেদ দেখ) উপরোক্ত নিয়মে যুক্ত-লেন্সের ফোকস দূরত্ব F ও উত্তল লেন্সের ফোকস দূরত্ব f_1 নির্ণয় কর। $\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$ এই সমীকরণ হইতে f_2 বাহির কর। উপযুক্ত চিহ্ন দিলে সমীকরণ $-\frac{1}{F}=-\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$ হইবে।

দ্রষ্টব্য : (১) উত্তল লেন্সের বর্ধনাঙ্ক অবতল লেন্সের বর্ধনাঙ্কের চেয়ে বেশী হইবে। $\therefore$ উত্তল লেন্সের ফোকস দূরত্ব কম হইবে।

(২) যদি P_1, P_2, P_3 যথাক্রমে যুক্ত-লেন্স, উত্তল লেন্স ও অবতল লেন্সের বর্ধনাঙ্ক হয় তবে $P_1=P_2+P_3$ হইবে।

(খ) বেশী বর্ধনাঙ্কের উত্তল লেন্স না পাইলে নিম্নলিখিত উপায়ে অবতল লেন্সের f বাহির করা যায় :—

প্রথমে C_1 উত্তল লেন্সের দ্বারা পর্দায় P দীপকের একটি উজ্জ্বল প্রতিবিম্ব Q_1 গঠন কর। P ও C_1কে স্থির রাখিয়া C_1 ও Q_1এর মধ্যে C_2 অবতল লেন্স

১০৯নং চিত্র

রাখ। প্রতিবিম্ব আরও দূরে Q_2তে সরিয়া যাইবে। পর্দাকে সরাইয়া এই প্রতিবিম্ব পর্দায় ফেল। ইহার কারণ এই যে C_1 উত্তল লেন্সে প্রতিসরণের দরুণ রশ্মিগুচ্ছ অভিসারী (converging) হয় কিন্তু এই অভিসারী রশ্মিগুচ্ছ

C_2 অবতল লেন্সে প্রতিসরণের দরুণ একটু অপসারী হইয়া Q_2তে কেন্দ্রীভূত হয়। সেইজন্য প্রতিবিম্ব Q_1 হইতে Q_2তে সরিয়া যায়।

আলোক রশ্মির পথ প্রত্যাবর্তনশীল সুতরাং Q_2 হইতে আলোক রশ্মিকে C_2 লেন্সে প্রতিসরণের পর Q_1 হইতে অপসারী হইতেছে (diverge) বলিয়া মনে হইবে। সুতরাং C_2 লেন্সে প্রতিসরণের জন্য Q_2র অসদ প্রতিবিম্ব হইবে Q_1। এখানে $C_2Q_2 = u$ ও $C_2Q_1 = v$, এবং u ও v দুইই ধনাত্মক। সাধারণ সমীকরণে u ও vএর মান বসাইবা f বাহির কর। f ধনাত্মক হইবে।

দ্রষ্টব্য: যতক্ষণ C_2Q_1 অবতল লেন্সের ফোকস দূরত্ব অপেক্ষা কম থাকে ততক্ষণ Q_1 অসদ্ প্রতিবিম্ব পাওয়া যাইবে।

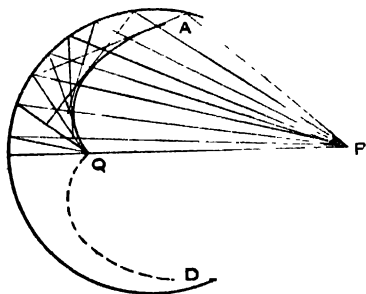
১০৯। **লেন্স চেনা** (Identification of Lenses) . নিম্নলিখিত উপায়ে লেন্স উত্তল কি অবতল চেনা যায় :

(ক) দূরের কোন বস্তুর দিকে লেন্স দিয়া লক্ষ্য কর, লেন্সের পশ্চাতে সাদা পর্দা রাখ। যদি পর্দা এদিক-ওদিক সরাইলে পর্দায় বস্তুর কোন প্রতিবিম্ব পাওয়া যায় তবে লেন্স উত্তল হইবে নচেৎ অবতল হইবে।

(খ) অনেক দূর হইতে কোন বস্তু লেন্সের খুব কাছে লইয়া যাও এবং অপরদিক হইতে দেখ। যদি প্রতিবিম্ব সব সময়েই সোজা ও ছোট হয় তবে লেন্স অবতল হইবে, আর যদি প্রতিবিম্ব সোজা ও বড় হয় তবে লেন্স উত্তল হইবে।

১১০। **গোলাপেরণ** (Sperial aberration) : যখন আপতিত রশ্মিগুচ্ছ খুব সূক্ষ্ম (narrow) এবং অক্ষের সহিত প্রায় সমান্তরাল হয় অর্থাৎ যখন গোলীয় প্রতিফলন বা প্রতিসরণ তলের উন্মেষ (aperture) ক্ষুদ্র হয় কেবল তখনই এই অপসারী (diverging) রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে (প্রধান ফোকসে) কেন্দ্রীভূত হয় কিংবা নির্দিষ্ট বিন্দু হইতে আসে বলিয়া মনে হয়। যদি তলের উন্মেষ বড় হয় তবে অক্ষের নিকটবর্তি রশ্মিগুলি প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর প্রধান ফোকসে কেন্দ্রীভূত হয় কিন্তু অক্ষ হইতে

দূরবর্তি রশ্মিগুলি প্রধান ফোকস অপেক্ষা লেন্সের নিকটবর্তি কোন বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হয়। গোলীয় তলের (দর্পণ বা লেন্সের) আপতিত রশ্মিগুচ্ছকে এক নির্দিষ্ট ফোকসে আনিবার অক্ষমতাকে **গোলাপেরণ** (গোল + আপেরণ aberration) বলে।

(ক) **গোলীয় দর্পণে গোলাপেরণ** : P একটি দীপক-বিন্দু বড় অবতল দর্পণের অক্ষের উপর অবস্থিত। যে কোন দুইটি পর পর প্রতিফলিত রশ্মি বিভিন্ন বিন্দুতে পরস্পর ছেদ করে। এই বিন্দুগুলি দুইটি বক্র রেখার AQ ও QD উপর অবস্থিত হয়। ইহাকে caustic curve বলে। এই বক্ররেখা প্রতিফলিত রশ্মিগুলিকে স্পর্শকভাবে (tangentially) স্পর্শ করে। যখন সূর্যালোক এক পেয়ালা দুধের উপর অনুভূমিকভাবে পড়ে দুধের তলে caustic curve দেখা যায়। দর্পণের দুই ধার কাল কাগজ জড়াইয়া প্রতিফলন তলের বিস্তৃতি কমাইয়া দিয়া আলোর আপেরণ কমান যায়। কাগজ জড়ানকে Stop বলে। বড় দর্পণের একেবারে কিনারা হইতে প্রতিফলিত রশ্মি যে বিন্দুতে অক্ষকে ছেদ করে, প্রধান ফোকস হইতে সেই বিন্দুর দূরত্ব দর্পণের গোলাপেরণের মাপ নির্ণয় করে।

১১০নং চিত্র

(খ) **লেন্সে গোলাপেরণ** : লেন্সে দূরবর্তি রশ্মি লেন্সের প্রধান ফোকস অপেক্ষা খুব নিকটে কেন্দ্রীভূত হয়। লেন্সেও পর পর প্রতিসৃত রশ্মিগুলির ছেদ-বিন্দু caustic curve গঠন করে। বড় উন্মেষের লেন্সে গোলাপেরণের জন্য সোজা বস্তুর প্রতিবিম্ব বাঁকিয়া যায়। এখানে stop ব্যবহার করিয়া কিংবা সমতলোত্তল লেন্স ব্যবহার করিয়া গোলাপেরণ কমান যায়।

অঙ্ক : 1. The plane side of a plano-convex lens is silvered and the lens then acts as a concave mirror of 30 cms focal length. The refractive index of the lens is 1·5. Calculate the radius of curvature of the convex lens. (P. U. 1931, All. 1929.)

যুক্ত লেন্স ৩০ সেঃ মিঃ ফোকস দূরত্ব বিশিষ্ট অবতল দর্পণের মত কাজ করে সুতরাং ইহার বক্রতা-কেন্দ্রে (৬০ সেঃ মিঃ দূরত্বে) কোন বস্তু রাখিলে বক্রতা-কেন্দ্রেই প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। কারণ প্রতিসৃত রশ্মি লেন্সের প্রলেপ দেওয়া সমতলে পড়িয়া প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় লেন্সের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত হইয়া বক্রতা কেন্দ্রে মিশিবে কাজেই যুক্ত লেন্সের ফোকস দূরত্ব $=$ ৬০ সেঃ মিঃ।

$$\frac{১}{f} = (\mu - ১)\left(\frac{১}{r_১} - \frac{১}{r_২}\right) \text{ এখানে } \mu = ১\cdot৫,\ f = -৬০ \text{ সেঃ মিঃ}$$

$r_২ = \infty$ (কারণ এই তল সমতল), $r_১ =$ কত ?

$$-\frac{১}{৬০} = (১\cdot৫ - ১) \times \frac{১}{r_১} \quad \therefore \quad r_১ = -৩০ \text{ সেঃ মিঃ}$$

প্রশ্ন

1. What is the difference in the behaviour of a lens and a prism ? (Pat. 1937).

2. Show how to find, by a geometrical construction, the position of an image formed by a (thin) double convex lens. (C. U. 1914, '15).

3. Obtain a formula connecting together the position of an object and its image formed—real or virtual—by direct refraction through a convex lens. Explain "Conjugate Foci" (C. U. 1931, '35, '47 ; Pat. 1926, '40.)

4. A rod 5 cms. long is held in front of a convex lens and forms an image 25 cms. long upon a screen (placed parallel to the rod) at a distance of 100 cms. from the lens. What is the focal length of the lens ? (C. U. 1918.)

[Ans : $f = -25$ cms.]

5. An object 6 cms. high is placed at a distance of 40 cms. from a thin convex lens and an inverted image of height 4 cms. is formed on the other side of the lens. Find the focal length of the lens graphically. Verify your result by calculation (Dacc. 1934.)

[Ans : 16 cms.]

6. The real image formed by a lens is twice the size of the object and 18 cms. from it. Find the focal length of the lens.

Deduce the distance between the object and the image when the image is half the size of the object. (Cal. '47)

[Ans : $f=4$ cms. D = 18 cms.]

7. A convex lens of focal length 12 cms. and a concave lens of focal length 10 cms. are placed co-axially at a distance of 10 cms. from each other. An object, which is nearer to the convex lens and on the common axis of the two lenses, is placed 48 cms. away from the convex lens. Find the position, magnification and nature of the final image formed. (Pat. 1942.)

8. An object is placed in front of a convex lens so that a real image of the same size is obtained. It is then moved 16 cms. nearer the lens. when the image, still real, is three times as large as the object. What is the focal length sf the lens ? [Ans : 24 cms.]

9. A convex lens is adjusted to form an image of a candle flame on a wall. It is then found that by moving the lens 25 cms. nearer to the wall a sharp image is again obtained exactly one quarter the length of the first. Find the focal length of the lens. (Pat. '46.)

10. If an observer's eye be held close to a convex lens of 3 cms. focal length to view an object at a distance of 2·5 cms. from the lens, show that the magnifying power is 6. Illustrate your answer by a neat diagram. (C. U. 1931.)

11. Find the size of the image on the squared paper provided, the size of the object (placed symmetrically with its centre on the axis) being 5 cms. and its distance 30 cms. from the lens. (The focal length of the lens = 10 cms.) (C. U. 1914)

[Ans : size of the image = 2·5 cms.]

12. A convex lens of focal length 10 cms. is made to approach a rod of length 5 cms. placed perpendicularly to the axis of a lens. Show by means of a typical diagram. drawn to scale (on the squared paper provided), the changes in the nature and size of the image.
(C. U. 1912, '16, '17, '19 ; Pat. 1921.)

13. You are given a lens through which you can look but which you are not allowed to handle. What tests would you apply in order to determine if it is concave or convex ? (Pat. 1929, '40.)

14. The radius of curvature of the surfaces of a double convex lens are 20 cms and 40 cms.. and its focal length is 20 cms. What is the refractive index of glass ? (C. U. 1935)

[Ans : 1·667]

15. What do you mean by the power of a lens ? (C. U. 1926)

16. Draw a graph showing the relation between the position of the object and the image in a convex lens from the following observations.

$v - 18{\cdot}0,\ 20{\cdot}9,\ 22,\ 24,\ 26,\ 28,\ 30,\ 32.$

$v = 41{\cdot}5,\ 33\ 5,\ 30,\ 27,\ 28{\cdot}7,\ 22,\ 21.$

Hence find the focal length of the lens. (Pat. 1921.)

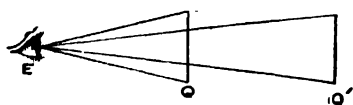
17. Describe two methods for determining the focal length of a thin convex lens. Give neat diagrams,
(Pat. 1931, '36,; C. U. '11, 17.)

18. Explain clearly how you would experimentally determine the focal length of a concave lens (C. U. 1933 ; Pat. '29)

19. A luminous object is kept at a fixed distance from a screen and with the help of a convex lens an image is obtained. The lens is then moved and another image is obtained on the screen. (*a*) If the distance of the object from the screen be 9 in. calculate the the focal length ; (*b*) if the sizes of the images be 2 and 8 inches, calculate the size of the object. (All. 1931.)

আলোকীয় যন্ত্র (Optical Instruments)

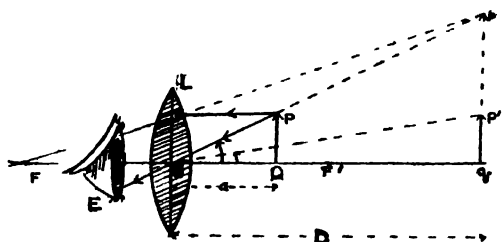
১১১। **আলোকীয় যন্ত্র :** আমরা দেখিয়াছি যে লেন্স হইতে বস্তুর দূরত্ব ও লেন্সের প্রকৃতি অনুযায়ী প্রতিবিম্ব উল্টা বা সোজা হয়, ছোট বা বড় হয়, নিকটে আসে বা দূরে যায়। আলোকীয় যন্ত্রে বিভিন্ন লেন্সের সাহায্যে আমরা ছোট বস্তুকে বড় করিয়া দেখি, বড় বস্তুকে ছোট করিয়া দেখি, দূরের বস্তুকে নিকটে আনি, নিকটের বস্তুকে দূরে লইয়া যাই বা কোন বস্তুর চিরস্থায়ী প্রতিবিম্ব তুলিয়া লই। এই যন্ত্রগুলি আমাদের দৃষ্টি শক্তিকে সাহায্য করে (Aids to vision).

১১২। **বস্তুর আপাত আকৃতি (Apparent size) ও স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব** (Least distance of distinct vision) : আমরা একই বস্তু দূরে লইয়া যাইলে ছোট দেখি, নিকটে আনিলে বড় দেখি, কেন?

১১১নং চিত্র

আমাদের চোখের ভিতরে একটি উভোত্তল **লেন্স** আছে (চোখের চিত্র দেখ)। লেন্সের পশ্চাতে একটি কাল পর্দা আছে। পর্দাকে **অক্ষিপট** (Retina) বলে। বাহিরের কোন বস্তু হইতে নির্গত আলোক রশ্মি চোখের লেন্সে আপতিত হইয়া প্রতিসরণের পর চোখের পর্দায় একটি **প্রতিবিম্ব** উৎপন্ন করে সেইজন্য আমরা বস্তুকে দেখিতে পাই। চোখের লেন্স ঠিক চোখের পর্দায় প্রতিবিম্ব গঠন না করিলে বস্তুকে আমরা দেখিতে পাই না।

বস্তুর আপাত আকৃতি (apparent size) বস্তুর প্রান্তস্থ বিন্দুদ্বয় P ও Q হইতে অঙ্কিত রেখা দ্বারা আমাদের চোখে যে কোণ উৎপন্ন হয় সেই কোণের মানের উপর নির্ভর করে। যত উৎপন্ন কোণ বাড়িবে প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য তত বড় হইবে। PQ বস্তু চোখ হইতে a দূরত্বে থাকিয়া চোখে PEQ কোণ উৎপন্ন করে। বস্তুকে আরও দূরে P′Q′ অবস্থানে লইয়া যাইলে চোখে P′EQ′ কোণ উৎপন্ন হইবে। মাপিয়া দেখিব $PEQ > P'EQ'$। সুতরাং বস্তুকে

যতই চোখের কাছে সরান যায় ততই বস্তু দ্বারা চোখে উৎপন্ন কোণ বাড়ে এবং বস্তুর আপাত আকৃতি ততই বড় হয়। অতএব বস্তুর আপাত আকৃতি **বস্তুর দৈর্ঘ্য ও চোখ হইতে বস্তুর দূরত্বের উপর** নির্ভর করে। কিন্তু এমন একটি নির্দিষ্ট দূরত্ব পর্যন্ত বস্তুকে চোখের কাছে আনা যায় যেখানে বস্তুকে স্পষ্টভাবে দেখা যায়। ইহার চেয়ে কম দূরত্বে আনিলে বস্তুর আপাত আকৃতি বাড়িয়া যাইবে বটে কিন্তু বস্তুকে স্পষ্টভাবে দেখা যাইবে না। এই নির্দিষ্ট দূরত্বকে **স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব** বলে। এই দূরত্বে থাকিয়া বস্তু চোখে যে কোণ উৎপন্ন করে তাহাই স্পষ্ট দৃষ্টির সর্বোচ্চ কোণ। সাধারণ চোখে এই দূরত্ব = প্রায় ২৫ সেঃ মিঃ। তোমরা কাগজের লেখা আস্তে আস্তে চোখের খুব কাছে আনিলে ইহা বুঝিতে পারিবে। মনে রাখিবে কোন বস্তু চোখের কাছেই থাকুক বা দূরে থাকুক তার আসল আকৃতি বদলায় না। আমাদের চোখে তার ছোট বড় প্রতিবিম্ব দেখিতে পাই।

১১৩। সরল অণুবীক্ষণ (Simple Microscope) বা বিবর্ধক কাচ (Magnifying glass): যদি উত্তোত্তল L লেন্সের ফোকস দূরত্ব Fএর মধ্যে কোন বস্তু PQ রাখ তবে লেন্সের পশ্চাতে ও নিকটে অবস্থিত E চোখ একটি সোজা, বিবর্ধিত ও অসদ্ প্রতিবিম্ব pq দেখিবে। সুতরাং উভোত্তল লেন্সকে

১১২নং চিত্র

বিবর্ধক কাচ বা **সরল অণুবীক্ষণ** (Simple Microscope) বলে। (যে যন্ত্রে নিকটস্থ ছোট বস্তুকে বড় দেখায় তাহাকে অণুবীক্ষণ বলে।)

মনে কর E চোখের স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব $D = Oq$ সুতরাং বিনা লেন্সে চোখ হইতে a দূরত্বে অবস্থিত PQ বস্তুকে E চোখ স্পষ্ট দেখিতে পাইবে না কারণ $a < D$. qতে বস্তু $P'q$ থাকিলে চোখে যে কোণ উৎপন্ন হইবে স্পষ্ট দৃষ্টির জন্য তাহাই সর্বোচ্চ কোণ। কিন্তু চোখের সামনে খুব কাছে L লেন্স রাখিলে

স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব oq তে PQর একটি সোজা ও বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব pq হইবে। লেন্সের খুব নিকটে চোখ থাকায় বস্তু PQ ও প্রতিবিম্ব pq চোখে প্রায় একই কোণ উৎপন্ন করে। সুতরাং pq প্রতিবিম্ব D দূরত্বে থাকায় স্পষ্ট ও বিবর্ধিত হইবে। মনে রাখিবে এই pq প্রতিবিম্ব চোখের ভিতরের লেন্সের পক্ষে বস্তুর কাজ করে এবং pqর একটি প্রতিবিম্ব অক্ষিপটে গঠিত হয়। অতএব উত্তল লেন্সের কাজ হইল চোখে উৎপন্ন কোণ পরিবর্তন না করিয়া খুব নিকটের বস্তুকে দূরে (স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে) লইয়া যাওয়া যাহাতে বস্তুকে স্পষ্টভাবে দেখা যায়। ইহাতে প্রতিবিম্বের আকারও বদলায় না।

বিবর্ধক ক্ষমতা (Magnifying Power) : লেন্সের মধ্য দিয়া দৃষ্ট প্রতিবিম্ব pq ও স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে অবস্থিত সোজাসুজি দৃষ্ট বস্তু $P'q$ চোখে যে কোণদ্বয় উৎপন্ন করে সেই কোণদ্বয়ের অনুপাতকে **বিবর্ধন ক্ষমতা** বলে।

মনে কর $OQ=u$, $Oq=v$, ফোকস দূরত্ব $=f$, $Oq=D$

$$\therefore \quad m=\frac{\text{প্রতিবিম্ব } pq \text{ দ্বারা উৎপন্ন কোণ}}{\text{বস্তু } P'q \text{ দ্বারা উৎপন্ন কোণ}}=\frac{\angle pOq}{\angle P'Oq}$$

$$=\frac{\tan pOq}{\tan P'Oq}\ (\text{কারণ কোণদ্বয় খুব ক্ষুদ্র})=\frac{pq/Oq}{P'q/Oq}=\frac{pq}{P'q}$$

$$=\frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ}\ (\text{কারণ } pOq \text{ ও } POQ \text{ ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ})=\frac{v}{u}$$

প্রতিবিম্ব অসদ্ $\therefore$ f ঋণাত্মক ও v ধনাত্মক $\therefore$ সাধারণ সূত্র $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=-\frac{1}{f}$

$$\therefore \quad v \text{ দিয়া প্রত্যেক রাশিকে গুণ করিয়া, } \frac{v}{u}=1+\frac{v}{f}$$

এখানে প্রতিবিম্ব D দূরত্বে গঠিত হয় $\therefore \quad v=D$

$$\therefore \quad m=\frac{D}{u}=1+\frac{D}{f}.$$

দ্রষ্টব্য : (১) এখানে D ধ্রুবক সুতরাং ফোকস-দূরত্ব কম হইলে লেন্সের বিবর্ধক শক্তি কম হইবে।

(২) সরল অণুবীক্ষণে বিবর্ধক শক্তি খুব সীমাবদ্ধ থাকে। কারণ উচ্চ বিবর্ধক শক্তি বিশিষ্ট লেন্স খুব মোটা হয়। কিন্তু খুব মোটা লেন্সে প্রতিবিম্ব স্পষ্ট দেখা যায় না।

(৩) যদি লেন্স হইতে চোখের দূরত্ব a হয় তবে $m = \frac{v}{u} - 1 + \frac{D-a}{f}$ হইবে। এই সমীকরণ হইতে বুঝা যায় যখন m এর মান সর্বোচ্চ হইবে অর্থাৎ $a = 0$ হইবে তখনই চোখের সর্বোৎকৃষ্ট অবস্থান হইবে অর্থাৎ চোখ লেন্সের খুব নিকটে থাকিবে।

১১৪। বিবর্ধক কাচের আবর্ণতা (Achromatism) : (আবর্ণতা = বর্ণহীনতা) : লেন্সের মধ্য দিয়া আলোকরশ্মির বিচ্ছুরণের (dispersion) জন্য বিভিন্ন বর্ণের প্রতিবিম্ব পাওয়া যায় (সাদা আলোর সাত বর্ণে বিশ্লেষণকে বিচ্ছুরণ বলে। (পরে দেখ)। কিন্তু যদি চোখ লেন্সের খুব কাছে রাখা যায় তবে বর্ণের বিচ্ছুরণ হইবে না। কারণ বিভিন্ন বর্ণের প্রতিবিম্ব কর্তৃক চোখে উৎপন্ন কোণ সমান হইবে। সুতরাং বিভিন্ন বর্ণের প্রতিবিম্বগুলি একই আকারের হয়। সেইজন্য অক্ষিপটে প্রতিবিম্বগুলি একটার উপর একটা পড়ে এবং মোটের উপর প্রতিবিম্বটি বর্ণহীন হয়।

১১৫। দৃষ্টির ক্ষেত্র (Field of view) : যে কোন আলোকীয় যন্ত্রের মধ্য দিয়া একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ ক্ষেত্র বা জায়গা দেখা যায়। ইহা সাধারণতঃ ক্ষেত্রের দুই সীমান্ত বিন্দুর দ্বারা উৎপন্ন কোণ দিয়া প্রকাশ করা হয়।

অঙ্ক : 1. D = 25 c.m. find m when f of lens = 2·5 c. m.

$$m = ১ + \frac{২৫}{২\cdot৫} = ১১।$$

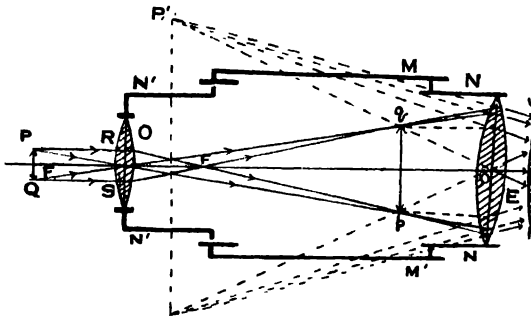
2. Find f of a lens which produces a magnification of 4 for an eye whose D is 20 c m.

$$\frac{v}{u} = 4,\ \frac{20}{u} = 4 \quad \therefore\ u = 5$$

$$\frac{১}{f} = \frac{১}{v} - \frac{১}{u} = \frac{১}{২০} - \frac{১}{৪}$$ বা $f = -৫$ সেঃ মিঃ

১১৬ **যৌগিক অণুবীক্ষণ** (Compound Microscope) :

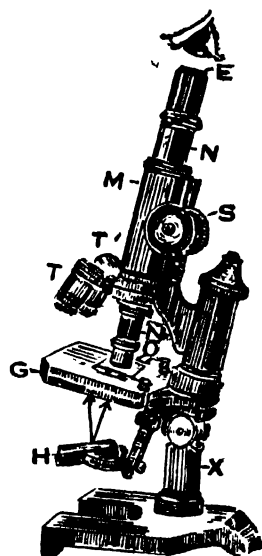
কাজ—নিকটস্থ খুব ছোট জিনিষকে খুব বড় করিয়া দেখানই ইহার কাজ।

যন্ত্রের বিবরণ ঃ (ক) প্রধান অংশ দুইটি উত্তল লেন্সের সমষ্টি (systems) O ও E। এই দুইটি লেন্সকে একটু দূরে দূরে সমাক্ষভাবে (co-axially) রাখা হয়। O লেন্স বস্তু PQর নিকটে থাকে এবং ইহার ফোকস দূরত্ব ও উন্মেষ খুব কম হয়। এই লেন্সকে **অভিলক্ষ্য** (Objective) বলে। অভিলক্ষ্য লেন্সটি N নলে বসান থাকে। N′ নলটি একটি মোটা M নলে স্ক্রু দিয়া আঁটা থাকে। E লেন্স চোখের সামনে থাকে। ইহাকে **অভিনেত্র** (Eye-piece) বলে। ইহার ফোকস

১১৩নং চিত্র

দূরত্ব ও উন্মেষ অভিলক্ষ্য লেন্সের অপেক্ষা বৃহত্তর হয়। অভিনেত্র লেন্সকে একটি টানা-নলে (draw-tube) Nতে বসান হয়। N টানা নলটি বড় M নলের ভিতরে এদিক-ওদিক সরান যায় যাহাতে অভিলক্ষ্য লেন্স O হইতে ইহার দূরত্ব বাড়ে বা কমে। N′ ও N নলসুদ্ধ প্রধান নল Mকে S স্ক্রুর সাহায্যে উঠান বা নামান যায়। (১০৪নং চিত্রে S স্ক্রু)

(খ) সমস্ত যন্ত্রটি X দণ্ডের উপর বসান থাকে। G প্লাটফরমের একটি ছিদ্রের উপর কাচ-পাতে (glass-slide) পরীক্ষাধীন বস্তুকে রাখা হয়। নীচের-দর্পণ হইতে উজ্জ্বল প্রতিফলিত আলোক রশ্মি প্লাটফরমের ছিদ্র দিয়া বস্তুর উপর পড়িলে বস্তুটি খুব আলোকিত হয়। (১০৪নং চিত্র)

ক্রিয়া ঃ S স্ক্রু ঘুরাইয়া যন্ত্রকে এমনভাবে উঠা-নামা কর যাহাতে বস্তু PQ অভিলক্ষ্য Oর খুব কাছে আসে কিন্তু ফোকস দূরত্ব OFএর ঠিক বাহিরে থাকে। ইহাতে PQর একটি সদ, উল্টা ও বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব *pq* অভিনেত্রের সামনে গঠিত হইবে। এখন N টানা নল টানিয়া অভিনেত্রকে এমনভাবে ব্যবস্থিত (adjust) কর যাহাতে O লেন্সের দরুণ প্রতিবিম্ব *pq* অভিনেত্রের ফোকস দূরত্ব EF'র মধ্যে পড়ে। অতএব *pq*র একটি সোজা, বিবর্ধিত ও অসদ্ প্রতিবিম্ব P'Q' অভিনেত্রের পশ্চাতে অবস্থিত চোখের স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে গঠিত হইবে।

রশ্মির অঙ্কন (Tracing the rays): PQ বস্তুর প্রান্তীয় বিন্দু P ও Q হইতে দুইটি করিয়া রশ্মি—একটি অক্ষ OFর সমান্তরালে ও একটি লেন্সের আলোকীয় কেন্দ্রের মধ্য দিয়া—টান। ইহারা *p* ও *q*তে ছেদ করিবে, সুতরাং PQএর প্রতিবিম্ব *pq* হইল। *pq* হইতে দুইটি রশ্মি অভিনেত্রে আপতিত হইয়া মনে হইবে P'Q' হইতে আসিতেছে। সুতরাং P'Q' শেষ প্রতিবিম্ব।

১১৪নং চিত্র

বিবর্ধক ক্ষমতা ঃ দুই লেন্সে দুইবার—প্রথমে অভিলক্ষ্য দ্বারা পরে অভিনেত্র দ্বারা—প্রতিবিম্ব বিবর্ধিত হয়। মনে কর যন্ত্রের মোট বিবর্ধন $= m$, অভিলক্ষ্য দ্বারা বিবর্ধন $= m_1$, অভিনেত্র দ্বারা বিবর্ধন $= m_2$, O লেন্স হইতে PQর ও *pq*র দূরত্ব $= u$ ও v। অভিনেত্রের ফোকস দূরত্ব $= f$.

$$m = \frac{P'Q'}{PQ} = \frac{P'Q'}{pq} \times \frac{pq}{PQ} \quad \text{এবং} \quad m_1 = \frac{pq}{PQ} = \frac{v}{u},$$

অভিনেত্র সরল অণুবীক্ষণের মত কাজ করে $\therefore \frac{P'Q'}{pq} = \left(1 + \frac{D}{f}\right)$

$$m = m_1 \times m_2 = \frac{v}{u}\left(1 + \frac{D}{f}\right)$$

দ্রষ্টব্য ঃ—(১) সমীকরণে দেখা যায় যে (ক) যদি u ছোট হয় তবে m বড় হয় অর্থাৎ অভিলক্ষ্যর ফোকস দূরত্ব ছোট হওয়া চাই। (খ) যদি f ছোট হয় তবে m বড় হয় অর্থাৎ অভিনেত্রেরও ফোকস দূরত্ব ছোট হওয়া চাই। (গ) যদি v ছোট হয় তবে m বড় হয় অর্থাৎ অভিনেত্র ও অভিলক্ষ্য যথাসম্ভব দূরে দূরে রাখা চাই। কার্যতঃ একটি মাত্র লেন্স ব্যবহারে আলোক রশ্মির আপেরণ ও বিচ্ছুরণ জনিত প্রতিবিম্বের বিকৃতি, বক্রতা ও আবর্ণতা দোষ উৎপন্ন হয়। এই সকল দোষ দূর করিবার উদ্দেশ্যে অভিনেত্রে ও অভিলক্ষ্যে কয়েকটি লেন্স ব্যবহার করা হয়। কার্যতঃ অভিনেত্র ও অভিলক্ষ্য প্রত্যেকে কতকগুলি লেন্সের সমবায়ে গঠিত হয়। ইহাতে প্রতিবিম্বের গোলাপেরণ, বিকৃতি ও আবর্ণতা দোষ থাকে না। (২) উচ্চ ক্ষমতা বিশিষ্ট অণুবীক্ষণে বিভিন্ন বিবর্ধন ক্ষমতা বিশিষ্ট অভিলক্ষ্য T, T′ থাকে। এই সকল অণুবীক্ষণে বস্তু বহু গুণ এমন কি লক্ষ গুণ বিবর্ধিত হয়। (৩) প্রতিবিম্বের বিভিন্ন অংশের মাপ গ্রহণ করিবার জন্য অণুবীক্ষণে সমকোণে আড়াআড়ি দুইটি সরু তার (cross-wire) প্রথম প্রতিবিম্বের (fq) স্থানে স্থাপিত হয়। সুতরাং শেষ প্রতিবিম্ব (P′Q′) ও এড়ো তার একসঙ্গে বিনা লম্বনে দেখা যায়।

অঙ্ক ঃ 1. The focal length of the object glass of a microscope is $\frac{1}{2}$ an inch., that of the eye-piece is 1 inch. Taking D to be 12 inches find the distance between the object glass and the eye-piece when the object viewed is $\frac{3}{4}$ of an inch from the object glass.

(P. U. 1912.)

$$\text{অভিলক্ষ্যে}-u' = +\tfrac{৩}{৪},\ f = -\tfrac{১}{২},\ v' = \text{কত ?}$$

$$\frac{১}{v'} - \tfrac{৪}{৩} = -২ \text{ বা } v' = -\tfrac{৩}{২} \text{ ইঃ}$$

$$\text{অভিনেত্রে}—v = +১২,\ f = -১,\ u = \text{কত ? } \frac{১}{১২} - \frac{১}{u} = -১ \text{ বা } u = \frac{১২}{১৩} \text{ ইঃ}$$

$$\therefore \text{ অভিনেত্র ও অভিলক্ষ্যের মধ্যের দূরত্ব} = v' + u = \tfrac{৩}{২} + \tfrac{১২}{১৩} = ২\tfrac{১১}{২৬} \text{ ই}.$$

2. The objective of a compound microscope has a focal length of of half an inch and is placed at a distance of $2\frac{1}{2}$ inches from the eye-piece. What must be the focal length of the eye-piece if the final

image of an object, placed ¾ inch from the object glass, is formed at the least distance of distinct vision which is 10 inches. (P. U. 1941.)

অভিলক্ষ্যে $u = +\frac{৩}{৪}$, $f = -\frac{১}{২}$, $v =$ কত ?

$$\frac{১}{v} - \frac{৪}{৩} = -২, \quad \therefore v = -\frac{৩}{২}$$

∴ প্রতিবিম্ব অভিলক্ষ্যের ১½" পশ্চাতে অবস্থিত হইবে।

∴ অভিনেত্র হইতে এই প্রতিবিম্বের দূরত্ব $u' = ২\frac{১}{২} - ১\frac{১}{২} = ১''$

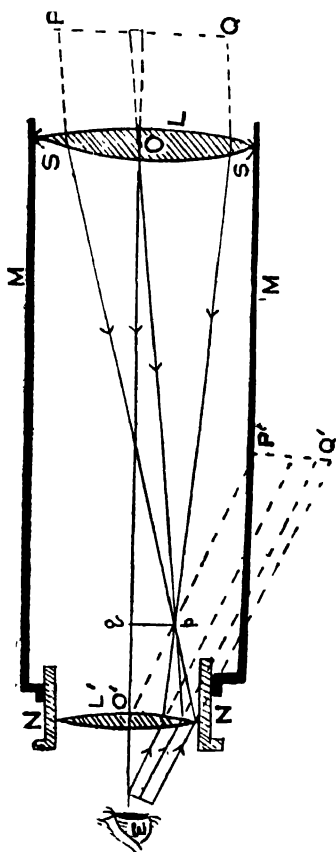
অভিনেত্রে $u' = ১''$, $v' = ১০''$, $f =$ কত ?

$$\frac{১}{১০} - ১ = \frac{১}{f} \qquad \therefore f = -\frac{১০}{৯} = -১\frac{১}{৯}''$$

১১৭। **দূরবীক্ষণ ঃ কাজ** এই যন্ত্রে দূরের জিনিষের বড় ও স্পষ্ট প্রতিবিম্ব নিকটে দেখা যায়।

নীতি ঃ দীর্ঘ ফোকস-দূরত্ব বিশিষ্ট লেন্স L দ্বারা দূরের কোন বস্তু PQর সদ্ উল্‌টা প্রতিবিম্ব pq গঠন কর। ইহা ছোট হইবে অর্থাৎ প্রতিবিম্বের প্রকৃত আকার বস্তুর আকারের চেয়ে ছোট হইবে। যদি L লেন্সের ফোকস দূরত্ব = ১০০ সেঃ মিঃ ও স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব = ২৫ সেঃ মিঃ হয় তবে বিনা লেন্সে দূরের বস্তুকে দেখিলে যে প্রতিবিম্বের আকার হইবে লেন্স দিয়া দেখিলে অক্ষিপটে প্রতিবিম্বকে তার চারগুণ (১০০ ÷ ২৫ = ৪) বৃহত্তর দেখাইবে। যদি একটি দ্বিতীয় লেন্স L′ ব্যবহার করিয়া প্রতিবিম্বের প্রতিবিম্ব ৫ গুণ বাড়ে তবে দুই লেন্সের মধ্য দিয়া বস্তুর আকার ৫ × ৪ = ২০ গুণ বাড়িবে। দূরবীক্ষণে খুব দূরের বস্তু দেখা হয় বলিয়া আপতিত রশ্মি সমান্তরাল হয়। প্রথম লেন্সের ও দ্বিতীয় লেন্সের প্রধান ফোকস একই বিন্দু হয় এবং দ্বিতীয় লেন্স হইতে বহির্গত রশ্মি সমান্তরাল হইয়া চোখে পড়ে। ইহাতে চোখ অসীমে একটি বর্ধিত P′Q′ প্রতিবিম্ব দেখিতে পায়। এই অবস্থায় লেন্সকে অসীমের জন্য ব্যবস্থিত (focussed for infinity) বলে। সাধারণ চোখ (normal eye) এই অবস্থায় স্পষ্ট প্রতিবিম্ব দেখিতে পায়। এই অবস্থায় দুই লেন্সের দূরত্ব = প্রত্যেক লেন্সের ফোকস দূরত্বের যোগফল। কার্যতঃ প্রায়শঃ দূরবীক্ষণকে

এমনভাবে ব্যবস্থিত (adjust) করা হয় যে শেষ প্রতিবিম্ব P'Q' স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে গঠিত হয়। দূরবীক্ষণ যন্ত্র নানা প্রকারের হয় যথা :—

(ক) **নভোবীক্ষণ** (Astronomical Telescope): **বিবরণ:** এই যন্ত্রে দুইটি উত্তল লেন্স একটি পিতলের নল Mএর ভিতর একই অক্ষ OO'র উপর (co-axially) অবস্থিত থাকে। অভিলক্ষ্য (বস্তুর দিকের) লেন্স Lএর ফোকস-দূরত্ব খুব দীর্ঘ ও উন্মেষ খুব বড হয়. কারণ অভিলক্ষ্যকে দূরের বস্তু হইতে প্রচুর আলোক রশ্মি সংগ্রহ করিতে হয় যাহাতে উজ্জ্বল প্রতিবিম্ব গঠিত হইতে পারে। অভিনেত্র লেন্স L'র ফোকস-দূরত্ব ও উন্মেষ ক্ষুদ্র হয় যাহাতে ইহা ঠিক চোখকে ঢাকিয়া রাখে। (১০৫নং চিত্রে অভিনেত্র খুব বড় করিয়া দেখান হইয়াছে)। অভিলক্ষ্য লেন্স L প্রধান নল Mএর এক প্রান্তে S স্ক্রু দিয়া আটা থাকে। অভিনেত্র লেন্স L' টানা-নল Nতে বসান থাকে। অভিনেত্র সুদ্ধ টানা নল N প্রধান নল Mএর ভিতর বা বাহিরে সরিতে পারে যাহাতে দুই লেন্সের মধ্যের দূরত্ব বাড়ান বা কমান যায়।

১১৫নং চিত্র

ক্রিয়া: অসীমের জন্য ব্যবস্থা (To focuss for infinity): এই যন্ত্র দিয়া বহু দূরের বস্তু PQকে দেখা হয় বলিয়া অভিলক্ষ্যর L এর উপর আপতিত রশ্মিগুচ্ছকে সমান্তরাল ধরা হয় সুতরাং রশ্মিগুচ্ছ L লেন্সের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত হইয়া ইহার ফোকস-তলে সদ, উল্টা ও ক্ষুদ্রতর প্রতিবিম্ব *pq* গঠন করে

$\therefore$ Oq অভিলক্ষ্যের ফোকস দূরত্ব হয়। এখন দূরবীক্ষণকে সাধারণ দৃষ্টির জন্য ব্যবস্থিত করিতে হইলে অভিনেত্র L'কে এখন জায়গায় আনা হয় যে ইহার প্রধান ফোকস pq তলের উপর পড়ে সুতরাং pq হইতে নির্গত রশ্মি অভিনেত্রের মধ্য দিয়া প্রতিসরণের পর সমান্তরালভাবে চলিয়া যাইবে এবং অভিনেত্রের ঠিক পশ্চাতে অবস্থিত সাধারণ চোখ OP' অভিমুখে একটি অসদ্, বর্ধিত প্রতিবিম্ব $P'Q'$ দেখিতে পাইবে। এই প্রতিবিম্ব pqর সহিত সোজা হইবে কিন্তু বস্তু PQর উল্টা হইবে। এই অবস্থায় দুই লেন্সের দূরত্ব = লেন্সের ফোকস দূরত্বের যোগফল। অভিনেত্রকে অভিলক্ষ্য হইতে দূরে সরাইলে নিকটের বস্তুর প্রতিবিম্ব অসীমে পাওয়া যায়।

বিবর্ধন ঃ চোখে প্রতিবিম্ব pq ও বস্তু PQ দ্বারা উৎপন্ন কোণের অনুপাতকে দূরবীক্ষণের বিবর্ধন বলে। দূরবর্তি বস্তুর দূরত্বের তুলনায় দূরবীক্ষণের দৈর্ঘ্য নগণ্য সুতরাং বস্তু PQ দ্বারা চোখে উৎপন্ন কোণ = বস্তুর দ্বারা অভিলক্ষ্যের কেন্দ্র Oতে উৎপন্ন কোণ = $POQ = pOq$ কোণ

$$\therefore \text{ বিবর্ধন } m = \frac{\angle pO'q}{\angle POQ} = \frac{\angle pO'q}{\angle pOq} = \frac{\tan pO'q}{\tan pOq} \text{ (কারণ কোণগুলি খুব ক্ষুদ্র)}$$

$$= \frac{pq/O'q}{pq/Oq} = \frac{Oq}{O'q}$$

অসীমের জন্য দূরবীক্ষণের এই ব্যবস্থা। $Oq = F$ (অভিলক্ষ্যের ফোকস্ দূরত্ব), $O'q = f$ (অভিনেত্রের ফোকস দূরত্ব) $\therefore$ এই অবস্থায় $m = \frac{F}{f}$ স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বের বিবর্ধন আরও বাড়িয়া যায়। অতএব দেখা যায় F যত বেশী হইবে ও f যত কম হইবে দূরবীক্ষণে বিবর্ধন তত বাড়িবে।

দ্রষ্টব্য ঃ (ক) এই দূরবীক্ষণের নীতি ও যৌগিক অণুবীক্ষণের নীতি একই। দুই যন্ত্রেই অন্ততঃ দুইটি করিয়া উত্তল লেন্স থাকে।

(খ, প্রতিবিম্বের অংশগুলির আপেক্ষিক মাপ লইবার জন্য সমকোণে অবস্থিত আড়াআড়ি দুইটি সরু তার (cross-wire) দেওয়া থাকে। এই তারটি যেখানে

অভিলক্ষ্যের দরুণ সদ্ প্রতিবিম্ব গঠিত হয় সেইখানেই ইহা স্থাপিত হয়। শেষ প্রতিবিম্ব ও তারগুলি অভিনেত্রের মধ্য দিয়া একসঙ্গে দেখা যায়। ইহাতে কোন লম্বন হয় না।

(গ) এই দূরবীক্ষণ দিয়া লক্ষ লক্ষ মাইল দূরের চন্দ্র, নক্ষত্র ও গ্রহাদি প্রভৃতি জ্যোতিষ্ককে উজ্জ্বল ও বিবর্ধিত দেখা যায় বলিয়া ইহাকে **নভোবীক্ষণ** (নভো = আকাশ) বলে। খালিচোখে ইহাদিগকে ক্ষুদ্র ও অনুজ্জ্বল দেখায়।

(ঘ) প্রতিবিম্ব খুব বেশী বিবর্ধিত হইলে প্রতিবিম্বের উজ্জ্বলতা কমিয়া যায়। সুতরাং অভিলক্ষ্যের সাহায্যে যাহাতে দূরের বস্তু হইতে অধিক পরিমাণে আলো আপতিত হইতে পারে সেইজন্য অভিলক্ষ্য লেন্স খুব বড় ব্যাস বিশিষ্ট হয়। আবার ব্যাস বড় হইলে বস্তুর দূরবর্তি অংশ ভালভাবে দেখা যায় কিংবা বহু দূরের দুইটি বস্তু কাছাকাছি থাকিলে উহাদের মধ্যের দূরত্ব বাড়িয়া যায়।

(ঙ) অনেক সময় অভিনেত্রকে অভিলক্ষ্যের দিকে সরাইয়া আনা হয় যাহাতে শেষ প্রতিবিম্ব স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে গঠিত হয়।

(চ) আবর্ণতা দূর করিবার জন্য অভিলক্ষ্য সাধারণতঃ দুইটি লেন্স—একটি crown কাচের উত্তল, একটি flint কাচের অবতল লেন্স দিয়া গঠিত হয়। বেশী বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব পাইবার জন্য অভিনেত্রও দুইটি লেন্স দ্বারা গঠিত হয়।

(ছ) নভোবীক্ষণকে একটি দণ্ডের উপর এমনভাবে রাখা হয় যাহাতে প্রধান নলকে যে কোন দিকে ঘুরাইয়া আকাশে যে কোণ জ্যোতিষ্ককে দেখা যায়। অনেক সময় বড় নভোবীক্ষণের গায়ে একটি ছোট দূরবীক্ষণ থাকে। ইহার সাহায্যে প্রথমে দূরের বস্তুকে ভালভাবে ফোকস করা হয়।

অঙ্ক: 1. A telescope is formed of two convex lenses of 10 cms. and 1 cms. respectively. If the telescope is focussed on a scale 1 metre from the objective and the final image is formed 25 cms. from the eye, calculate the magnification produced. (P. U. 1944).

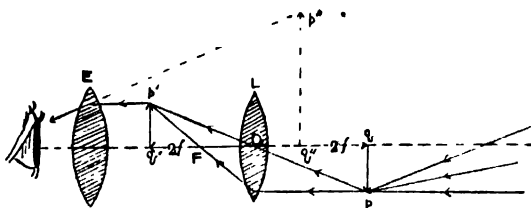
মনে কর অভিলক্ষ্য লেন্সের দরুণ প্রতিবিম্ব অভিনেত্র হইতে u দূরত্বে গঠিত হয় এবং শেষ অসদ প্রতিবিম্ব চোখ হইতে ২৫ সেঃ মিঃ দূরত্বে আছে।

$$\frac{১}{২৫} - \frac{১}{u} = -\frac{১}{১} \qquad \therefore u = \frac{২৫}{২৬}$$

আবার যদি $Oq = v$ হয় তবে $\frac{১}{v} - \frac{১}{১০০} = -\frac{১}{১০}$, বা $\frac{১}{v} = -\frac{৯}{১০০}$

বা $v = -\frac{১০০}{৯}$ $\therefore$ মোট বিবর্ধন $= \frac{v}{u} = \frac{১০০}{৯} \div \frac{২৫}{২৬} = ১১\frac{৫}{৯}$

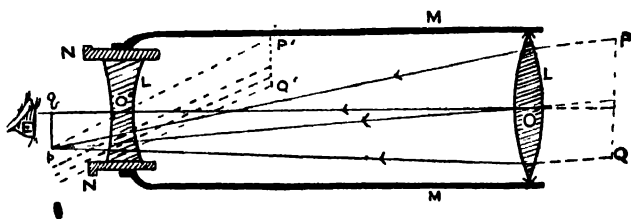
(ঘ) **ভৌম দূরবীক্ষণ** (Terrestrial Telescope) : নভোবীক্ষণে শেষ প্রতিবিম্ব উল্‌টা হয়। সেইজন্য পৃথিবী পৃষ্ঠে কোন বস্তু দেখিবার জন্য অভিনেত্রের সঙ্গে একটি উত্তল লেন্স যোগ করা হয়। ইহাতে উল্‌টা প্রতিবিম্ব আবার সোজা হয়। এই অতিরিক্ত লেন্সকে Erecting অভিনেত্র বলে। ইহাব প্রধান অসুবিধা যে দূরবীক্ষণের দৈর্ঘ্য খুব বাড়িয়া যায় এবং প্রত্যেক কাচতলে প্রতিফলনের জন্য কিছু আলোক নষ্ট হয় সেইজন্য শেষ প্রতিবিম্ব সোজা হইলেও ক্ষীণপ্রভ হয়। জরিপ কার্যে, নৌচালনে এই দূববীক্ষণ প্রয়োজন হয়।

ক্রিয়া : মনে কর অভিলক্ষ্যেব (চিত্রে নাই) দরুণ pq সদ্ ও উল্‌টা প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। এখন অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের মধ্যে অতিরিক্ত লেন্স Lকে

১১৬নং চিত্র

এমন জায়গায় বসাও যাহাতে L হইতে pqর দূরত্ব Lএর ফোক্‌স দূরত্ব fর দ্বিগুণ হয় ($Oq = 2f$). অণুচ্ছেদ অনুসারে Lএর জন্য pqর একটি সদ, উল্‌টা ও সমান আকৃতির প্রতিবিম্ব $p'q'$ Lএর অপরদিকে $2f$ দূরত্বে গঠিত হয়। $p'q'$ প্রতিবিম্ব pq প্রতিবিম্বের উল্‌টা হইলেও বস্তু PQর মত সোজা হইবে। সাধারণ দৃষ্টির জন্য (for normal vision) অভিনেত্র Eকে এমনভাবে সরান হয় যাহাতে $p'q'$ প্রতিবিম্ব অভিনেত্রের ফোকস তলে থাকে এবং নির্গত রশ্মিগুচ্ছ সমান্তরাল হয় সুতরাং অভিনেত্রের মধ্য দিয়া শেষ বর্ধিত ও অসদ প্রতিবিম্ব $p''q''$ অসীমে দেখা যায়। কার্যতঃ অভিনেত্রকে অভিলক্ষ্যের দিকে সরান হয় যাহাতে $p'q'$

অভিনেত্রের ফোকস দূরত্বের মধ্যে থাকে সুতরাং শেষ বর্ধিত ও অসদ্ প্রতিবিম্বকে স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে অভিনেত্রের মধ্য দিয়া দেখা যায়। অতিরিক্ত L লেন্সের পরিবর্তে দুই উত্তল লেন্স ব্যবহার করা যায়। এই দুই লেন্সের মধ্যে দূরত্ব $-2f$.

(গ) **গ্যালিলিওর দূরবীক্ষণ** (Galileos' Telescope) **যন্ত্র :** ইহাই সর্বাপেক্ষা পুরাতন দূরবীক্ষণ। এই যন্ত্রে দীর্ঘ ফোকস দূরত্ব বিশিষ্ট উভোত্তল লেন্স Lকে অভিলক্ষ্যরূপে এবং ক্ষুদ্র ফোকস দূরত্ব বিশিষ্ট উভাবতল লেন্স L'কে অভিনেত্ররূপে ব্যবহার করা হয়। দুই লেন্সকে কিছু দূরে দূরে সমাক্ষভাবে একটি প্রধান পিতলের M নলে রাখা হয়। অভিলক্ষ্য লেন্সকে প্রধান M নলের এক প্রান্তে স্ক্রু দিয়া আটা থাকে এবং অভিনেত্র লেন্স টানা নল Nতে বসান থাকে। এই টানা নলকে প্রধান নলের ভিতরে সরান যায় যাহাতে দুই লেন্সের মধ্যস্থিত দূরত্ব কমান বা বাড়ান যায়।

ক্রিয়া : মনে কর Lর ফোকস দূরত্ব F, L'র ফোকস দূরত্ব $=f$. মনে কর দূরবর্তি PQ বস্তুর দুই প্রান্ত হইতে দুইটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অভিলক্ষ্যে

১১৭নং চিত্র

আপতিত হয়। সুতরাং যদি অবতল লেন্স L' না থাকিত তবে L অভিলক্ষ্যের প্রধান ফোকস তলে বস্তু PQ একটি সদ্, ক্ষুদ্রতর ও উলটা প্রতিবিম্ব pq গঠন করিত। কিন্তু আলোক রশ্মির পথে অবতল L' লেন্স থাকার দরুণ অন্য রকম প্রতিবিম্ব হয়। এখন যদি অবতল লেন্সের ও অভিলক্ষ্যের ফোকস-তল এক হয় অর্থাৎ অবতল লেন্সের ফোকস দূরত্ব $O'q$ হয় তবে রশ্মিগুচ্ছ L' লেন্সের মধ্য দিয়া প্রতিসরণের পর pO'র সমান্তরালে নির্গত হয় এবং অভিনেত্রের

পশ্চাতে **সাধারণ চোখ** E অসীমে খুব বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব P'Q' দেখিতে পায়। এই প্রতিবিম্ব pqর উল্টা হয় কিন্তু বস্তু PQর মত সোজা হয়। $qO = O'q = F - f = O'O$ ∴ দুই লেন্সের ফোকস দূরত্বের পার্থক্য = দুই লেন্সের মধ্যবর্তি দূরত্ব।

কার্যতঃ অভিনেত্রকে একটু ভিতরে সরান হয় যাহাতে $O'q$ অভিনেত্রের ফোকস দূরত্ব fর চেয়ে একটু বাড়ে। সুতরাং শেষ প্রতিবিম্ব P'Q' স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে গঠিত হয়, ইহাতে প্রতিবিম্ব খুব স্পষ্ট দেখা যায়।

বিবর্ধন $m = \frac{\angle pO'q}{\angle POQ} = \frac{\angle pO'q}{\angle qOp} = \frac{\tan pO'q}{\tan qOp} = \frac{Oq}{O'q} = \frac{F}{f}$ ....(৩৮)

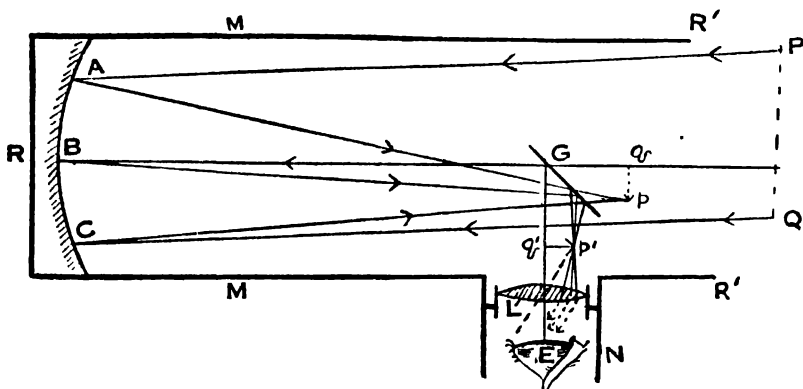
নভোবীক্ষণ ও গ্যালিলিও দূরবীক্ষণের তুলনা : (ক) **সাদৃশ্য :** (১) দুই যন্ত্রেই দূরের বস্তু দেখা যায়। (২) দুই যন্ত্রেই আলোক রশ্মি প্রতিসৃত হয়। (৩) দুই যন্ত্রেই দুইটি লেন্স ব্যবহৃত হয়। অভিলক্ষ্যের ফোকস দূরত্ব অভিনেত্রের ফোকস দূরত্বের চেয়ে বেশী হয়। (৪) অসীমের জন্য যন্ত্র ব্যবস্থিত (adjusted) হইলে বিবর্ধন $m = \frac{F}{f}$.

বৈসাদৃশ্য : (১) প্রথমটায় অভিনেত্র উভোত্তল লেন্স। দ্বিতীয়টায় অভিনেত্র উভাবতল লেন্স। (২) সাধারণ দৃষ্টির জন্য প্রথমটায় দুইটি লেন্সের দূরত্ব $= F + f$. দ্বিতীয়টায় দূরত্ব $= F - f$. সুতরাং গ্যালিলিও দূরবীক্ষণ দৈর্ঘ্যে ছোট হয়। ইহাতে আলোকরশ্মি কম নষ্ট হয় এবং যন্ত্রটি লইয়া যাওয়ার সুবিধা হয়। (৩) প্রথমটায় প্রতিবিম্ব উল্টা হয় সুতরাং জ্যোতিষ্ক দেখার পক্ষে সুবিধাজনক। দ্বিতীয়টায় প্রতিবিম্ব সোজা হয় সুতরাং পৃথিবীপৃষ্ঠের বস্তু দেখার পক্ষে সুবিধাজনক। (৪) নভোবীক্ষণের বিবর্ধন ও দৃষ্টি-ক্ষেত্র বেশী। (৫) নভোবীক্ষণে দুই লেন্সের সাধারণ ফোকস তলে প্রতিবিম্বের বিভিন্ন অংশের মাপ লইবার জন্য এড়োতার (cross wires) রাখা হয় কিন্তু গ্যালিলিও দূরবীক্ষণে অভিলক্ষ্যের ফোকস-তল যন্ত্রের বাহিরে থাকে বলিয়া কোন এড়োতার রাখা সম্ভব নয়। সুতরাং গ্যালিলিও দূরবীক্ষণ দ্বারা কোন মাপ লওয়া হয় না। (৪) নভোবীক্ষণে কেবল বৈজ্ঞানিক কাজ হয় কিন্তু গ্যালিলিও দূরবীক্ষণ নানা কাজে ব্যবহৃত হয়।

(ঘ) **নাট্য দূরবীণ** (Opera glass)ঃ এই যন্ত্রে দুই চোখের জন্য দুইটি গ্যালিলিও দূরবীক্ষণ এক সঙ্গে জোড়া থাকে। ইহাদের অক্ষ সমান্তরাল হয়।

In an opera glass F of objective = 4 in. f of eye-piece $= 1\frac{1}{2}$ in. What is m and $F-f$ when focussed for a distant object ?

$m = \frac{\;}{f}$ ৪ ÷ $\qquad \therefore F - f =$ ৪ $-$ ৩/২ $=$ ২১/২ ইঃ

(ঙ) **প্রতিফলক দূরবীক্ষণ** (Reflecting Telescope)ঃ পূর্ব বর্ণিত যন্ত্রে আলোকরশ্মি প্রতিসৃত হইয়া চোখে প্রবেশ করে। এই যন্ত্রে অভিলক্ষ্য হইল একটি দীর্ঘ বক্রতা-ব্যাসার্ধ (radius of curvature)বিশিষ্ট বড় অবতল **দর্পণ** ABC। একটি বড M নলের R প্রান্তে দর্পণটি স্থাপিত হয়। নলের R′ খোলা প্রান্ত বস্তু PQর দিকে ঘোরান থাকে। দূরবর্তি বস্তু PQ হইতে সমান্তরাল

১১৮নং চিত্র

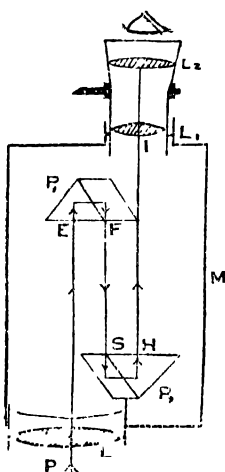
রশ্মিগুচ্ছ ABC দর্পণে আপতিত হয় এবং দর্পণ হইতে প্রতিফলিত হইয়া দর্পণের ফোকস তলে সদ, উল্টা ও ক্ষুদ্রতর প্রতিবিম্ব pq গঠন করিত কিন্তু রশ্মির পথে অভিলক্ষ্য দর্পণের অক্ষ BGর সহিত ৪৫° কোণে G সমতল দর্পণ থাকাতে প্রতিবিম্ব $p'q'$তে সরিয়া যায়। এবং পার্শ্ব নল Nএর মধ্যে অবস্থিত L′ অভিনেত্রের (উত্তল লেন্স) মধ্য দিয়া এই প্রতিবিম্বকে চোখ দেখে। সাধারণ দৃষ্টির জন্য L′ অভিনেত্রকে এমন জায়গায় বসান হয় যে $p'q'$ প্রতিবিম্ব L

অভিনেত্রের ফোকস তলে থাকে এবং চোখ অসীমে খুব বিবর্ধিত অসদ্ প্রতিবিম্ব দেখে। বর্তমানে ক্যালিফোর্ণিয়ায় উইলসন পরীক্ষাগারে বৃহত্তম প্রতিফলক দূরবীক্ষণ (অভিলক্ষ্যের ব্যাস = ১০০") অবস্থিত আছে।

প্রতিফলক দূরবীক্ষণের সুবিধা : (ক) দর্পণে প্রতিফলনের অপেক্ষা লেন্সে প্রতিসরণে আলোকরশ্মি বেশী নষ্ট হয় কারণ লেন্স অনেকখানি আলোক শোষণ করে। সুতরাং নভোবীক্ষণে বেশী আলোক পাইবার জন্য বড় লেন্স ব্যবহার করা হয় বলিয়া প্রতিবিম্ব বেশী উজ্জ্বল হয় না কিন্তু প্রতিফলক দূরবীক্ষণে বড় দর্পণ ব্যবহার করা হয় বলিয়া প্রতিবিম্ব বেশী উজ্জ্বল হয়। (খ) এই যন্ত্রে আলোকের প্রতিসরণ হয় না কেবল প্রতিফলন হয় সুতরাং প্রতিবিম্ব বর্ণহীন হয়। (গ) অধিবৃত্তাকার (parabolic) দর্পণ ব্যবহার করিলে প্রতিবিম্ব বিকৃত হয় না। (ঘ) বড় দর্পণের চেয়ে বড় লেন্স প্রস্তুত করা শক্ত।

১১৮। **দুইটি লেন্স দ্বারা দূরবীক্ষণ গঠন :** একটি ৩০ বা ৪০ সেঃ মিঃ ফোকস দূরত্ব বিশিষ্ট উভোত্তল লেন্স জানালা হইতে অনেকটা দূরে রাখ। তৈলাক্ত কাগজের উপর ইহার সদ্ প্রতিবিম্ব ধর। ৫ বা ৬ সেঃ মিঃ ফোকস দূরত্ব বিশিষ্ট অপর একটি উভোত্তল লেন্স প্রতিবিম্বের পশ্চাতে ধর। কাগজ সরাও। দ্বিতীয় লেন্সের পশ্চাতে চোখ রাখিলে জানালার উল্টা প্রতিবিম্ব দেখিবে। দ্বিতীয় লেন্স ও কাগজের মধ্যের দূরত্ব ৬ সেঃ মিঃ এর কম হইবে। লেন্সের এই সমবায় এইরূপ নভোবীক্ষণ গঠন করে। এখন দ্বিতীয় লেন্স তুলিয়া প্রথম লেন্স ও কাগজের মধ্যে ৫ বা ৬ সেঃ মিঃ ফোকস দূরত্ব বিশিষ্ট একটি উভাবতল লেন্স প্রতিবিম্ব হইতে ৫।৬ সেঃ মিঃ দূরত্ব রাখিলে গ্যালিলিও দূরবীক্ষণ গঠিত হইবে। প্রতিবিম্ব সোজা দেখা যায়।

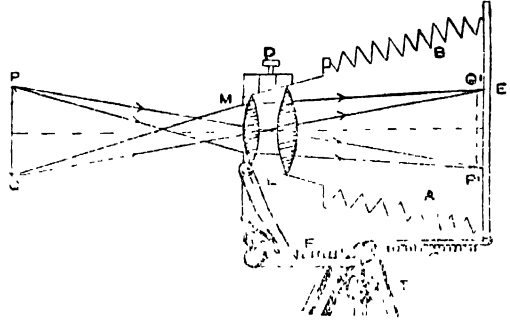
১১৯। **দুই লেন্স দ্বারা অণুবীক্ষণ গঠন :** ৪ বা ৫ সেঃ মিঃ ফোকস দূরত্ব বিশিষ্ট উভোত্তল লেন্স একটি ক্ষুদ্র দাগের সম্মুখে রাখ। লেন্স ও দাগের মধ্যস্থ দূরত্ব স্থির কর যাহাতে ৮ বা ১০ গুণ বিবর্ধিত সদ্ প্রতিবিম্ব তৈলাক্ত কাগজের উপর পাওয়া যায়। কাগজের পশ্চাতে দ্বিতীয় উভোত্তল লেন্স রাখ যাহাতে দ্বিতীয় বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়। ইহাই যৌগিক অণুবীক্ষণ।

১২০। **প্রিজ্‌ম বাইনোকুলার** (Prism Binocular): এই যন্ত্র দিয়া সোজা প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়, ইহার বিবর্ধন শক্তি বেশী, দৃষ্টিক্ষেত্রও বিস্তৃত। বস্তু হইতে সমান্তরাল রশ্মি অভিলক্ষ্য লেন্স L অতিক্রম করিয়া PE পথে পূর্ণ প্রতিফলক-প্রিজ্‌ম P_1তে পড়ে। P_1এর প্রতিসরণ তল EF যন্ত্রের মধ্যে লম্বভাবে থাকে। P_1 হইতে রশ্মি পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হইয়া প্রথম পথ PEর সমান্তরালে বিপরীত FS পথে চলিয়া P_2 প্রিজমে পড়ে এবং পুনবায় পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হইয়া পূর্ব পথের সমান্তরালে HI পথে আসিয়া L_1 ও L'_2 লেন্সদ্বয় (erecting eye-piece) অতিক্রম করিয়া চোখে পড়ে। সুতরাং অভিলক্ষ্য L হইতে অভিনেত্র L_2 পর্যন্ত আলোকরশ্মির পথ = ৩ × M নলের দৈর্ঘ্য। অর্থাৎ যন্ত্রের দৈর্ঘ্য না বাড়াইয়া অভিলক্ষ্য ও অভি-নেত্রের দূরত্ব তিন গুণ বাড়ান যায়। P_1 প্রিজম দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব পার্শ্বদিকে উল্‌টাইয়া যায় কিন্তু উপর নীচে সোজা থাকে। P_2 প্রিজম দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব পার্শ্বদিকে সোজা থাকে কিন্তু উপর নীচে উল্‌টাইয়া যায় সুতরাং শেষ প্রতিবিম্ব হুবহু সোজা হয়। প্রত্যেক যন্ত্রে দুই চোখের জন্য দুইটি নলে প্রিজম থাকে বলিয়া ইহাকে **বাইনোকুলার** (Bini-two, Oclus-eye) বলে। এই যন্ত্রে অভিলক্ষ্য Lএর ফোকস দূরত্ব বেশী হইলে বিবর্ধন বেশী হইবে।

১১৯নং চিত্র

১২১। **ফটোগ্রাফি ক্যামেরা** (Photographic Camera): এই যন্ত্রের সাহায্যে একটি প্লেটে বা কাগজে কোন বস্তুর **চিরস্থায়ী** প্রতিবিম্ব তোলা হয়।

যন্ত্রের প্রধান অংশ ঃ (ক) আলোক নিরুদ্ধ অন্ধকার বাক্স BA: ইহা ভাজকরা কাল চামড়া বা শক্ত কাগজ বা কাপড় দিয়া তৈরি হয় যাহাতে ইহার দৈর্ঘ্য ইচ্ছামত বাড়ান বা কমান যায়। আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন বন্ধ করার জন্য বাক্সের ভিতরটা কাল রং করা থাকে। বাক্সটি একটি T তেপায়ার (tripod

stand) উপর বসান থাকে যাহাতে ইহাকে যে কোন অবস্থানে বা উচ্চতায় রাখা যায়। বাক্সের পাটতনে (base) দন্তবিশিষ্ট দণ্ড C ও কাটা দণ্ড F (rack and pinion) ব্যবস্থা থাকে। ইহা ঘুরাইয়া বাক্সের পশ্চাতভাগ ভিতরে বা বাহিরে আনা যায়। ইহাতে পর্দার ও লেন্সের দূরত্ব বাড়ান বা কমান যায়।

(খ) **অভিলক্ষ্য L** · ইহা লেন্সের সমবায়ে গঠিত। লেন্সগুলি একত্রে অভিসারী লেন্সের কাজ করে। লেন্সগুলি এমন ভাবে গঠিত যে প্রতিবিম্ব বর্ণহীন ও অবিকৃত হয়। D-তে একটি দন্তুর দণ্ড ও কাটা দণ্ড থাকে যাহাতে focuss কবার জন্য অভিলক্ষ্যকে সম্মুখে বা পশ্চাতে সরান যায়।

১২০নং চিত্র

(গ) **কণীনিকা পর্দা** M (Iris Diaphragm) : ইহা একটি ছিদ্র বিশিষ্ট পর্দা। ইহার ছিদ্র ছোট-বড় করিয়া লেন্সের উন্মোচ এবং সঙ্গে সঙ্গে আপতিত আলোকরশ্মির মাত্রা বাড়ান বা কমান যায়। স্পষ্ট ও উজ্জ্বল প্রতিবিম্ব পাইবার জন্য লেন্সের মাঝখানটা ব্যবহার করা উচিৎ। লেন্সের বাকি অংশ এই পর্দা দিয়া ঢাকিয়া দেওয়া হয়। এই পর্দাকে Stop বলে। বিভিন্ন আকৃতির ছিদ্রযুক্ত বিভিন্ন Stop থাকে। Stop-এর ছিদ্র যত ছোট হয় প্রতিবিম্ব তত স্পষ্ট হয়। লেন্সের ফোকস দূরত্বের ভগ্নাংশ দিয়া Stop-এর ছিদ্রের ব্যাস প্রকাশিত হয়।

(ঘ) **ঢাকনা** (Shutter) : লেন্সের সম্মুখে একটি ঢাকনার সাহায্যে প্লেটে আলোকরশ্মির পতনের (exposure) সময় নিয়ন্ত্রণ করা হয়। আধুনিক ক্যামেরায় স্বয়ং-ক্রিয় ব্যবস্থার দ্বারা $\frac{১}{১০}$ হইতে $\frac{১}{১০০}$ সেকেণ্ড পর্যন্ত সময় নিয়ন্ত্রণ করা যায়। অন্য ব্যবস্থা দ্বারাও এই উদ্দেশ্য সাধিত হয়।

(ঙ) **পশ্চাতের পর্দা** E (Screen) : ইহা ঘসা কাচের তৈরি। ইহা বাক্সের পশ্চাতে থাকে। ইহার উপর প্রথমে প্রতিবিম্ব focuss করা হয়। পরে ইহার স্থানে প্লেট বসান হয়।

(চ) **স্লাইড** (Slide) : ইহা আলোক নিরুদ্ধ সরু বাক্স। ইহার মধ্যে আলোক সুগ্রাহী প্লেট (sensitive plate) থাকে। কারণ প্লেটে বাহিরের আলো লাগিলে প্লেট নষ্ট হয়।

(ছ) **প্লেট** : প্লেটে কাঁচের কিংবা সেলুলয়েডের পাতের উপর রাসায়নিক দ্রব্যের প্রলেপ দেওয়া থাকে। রাসায়নিক দ্রব্যটি হইল রূপার লবণ (Halides of silver).

কি করিয়া ফটোগ্রাফ তোলা হয় : মনে কর PQ দ্রব্যের ফটো তুলিতে হইবে। ক্যামেরাটি দ্রব্যের সামনে নির্দিষ্ট উচ্চতায় রাখ। দ্রব্যটি L লেন্সের ফোকস্ দূরত্বের বাহিরে রাখ। লেন্সের ঢাক্‌না খোল। E পর্দায় একটি সদ্ ও উল্‌টা প্রতিবিম্ব P'Q' দেখিতে পাইবে। দন্ত বিশিষ্ট দণ্ডের সাহায্যে লেন্স কিংবা পশ্চাতের পর্দাকে সরাইয়া কিংবা দুইটিকেই সরাইয়া লেন্স ও পর্দার মধ্যের দূরত্ব এমনভাবে পরিবর্তন কর যাহাতে প্রতিবিম্ব খুব স্পষ্ট ও উপযুক্ত আকৃতির হয়। লেন্সের সামনের M পর্দার ছিদ্র কম বা বেশী কর যাহাতে প্রতিবিম্ব খুব উজ্জ্বল হয়। পুনরায় লেন্সকে ঢাকনা দিয়া বন্ধ কর। E পর্দা সরাইয়া প্লেটসুদ্ধ স্লাইডের বাক্স পর্দার জায়গায় রাখ। লেন্সের সামনের ঢাকনা খুলিয়া লও। আলোক রশ্মি বস্তু PQ হইতে লেন্সের মধ্য দিয়া সুগ্রাহী প্লেটে পড়িবে। ইহাকে Exposure বলে। Exposure এর সময় আলোর মাত্রা ও Stopএর ছিদ্রের ব্যাসের উপর নির্ভর করে। প্লেটের যেখানে প্রতিবিম্ব গঠিত হয় সেই অংশেই আলোর সহিত প্লেটের প্রলেপের রাসায়নিক প্রতিক্রিয়া হয়। এই অবস্থায় কিন্তু প্রতিবিম্ব দেখা যায় না। কিছুক্ষণ Exposure করিবার পর প্লেটসুদ্ধ স্লাইডের বাক্স সরাইয়া অন্ধকার ঘরে লইয়া যাও।

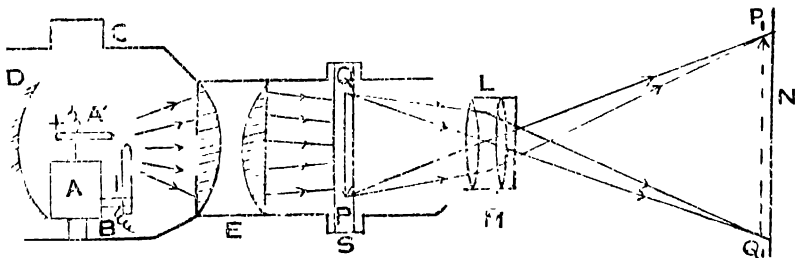
ফটোগ্রাফির নীতি : প্লেটের একধারে রূপার লবণের (Silver salt) ও জিলাটিনের মিশ্রণের প্রলেপ থাকে। যখন আলো এই প্লেটের যে কোন অংশে পড়ে তখন আলো রূপার লবণের উপর ক্রিয়া করে। অন্ধকার ঘরে প্লেটটি

একটি রাসায়নিক দ্রবণের (chemical solution) মধ্যে ডুবাইয়া রাখা হয়। দ্রবণকে Developer বলে। এই প্রক্রিয়ায় প্লেটের যে যে অংশে আলোকরশ্মি আপতিত হইয়াছিল সেই সেই অংশে রূপার লবণ ধাতব রূপায় (metallic silver) পরিণত হয় এবং প্রতিবিম্ব স্পষ্টভাবে দেখা যায়। এই অবস্থায় প্লেটকে জলে খুব সাবধানে ধৌত কর যাহাতে প্লেটে Developer এর কোন চিহ্ন না থাকে। তারপর প্লেটের বাকি অংশ হইতে রূপার লবণ দূর করিবার জন্য Hypoর দ্রবণ (Sodium thiosulphate) দিয়া প্লেটকে ধৌত কর। আবার Hypoকে প্লেট হইতে তাড়াইবার জন্য প্লেটকে পরিষ্কার জলে পুনঃ পুনঃ ধৌত কর। এখন প্লেটকে বাতাসে শুকাও। এইরূপ অবস্থায় প্লেটকে **নেগেটিভ** (Negative) বলে ; কারণ বস্তুর উজ্জ্বল অংশ নেগেটিভে কালো দেখায় ও কালো অংশ উজ্জ্বল দেখায়। এখন প্লেটের মত একটি রূপার লবণের প্রলেপযুক্ত সুগ্রাহী কাগজ নেগেটিভের উপর রাখ এবং নেগেটিভের মধ্য দিয়া আলোকরশ্মিকে কিছুক্ষণ পড়িতে দাও। পরে কাগজকে পূর্বোক্ত উপায়ে Develope ও Hypoর দ্রবণে ধৌত করিয়া শুকাইলে **ফটোগ্রাফ** পাওয়া যায়।

সূচীছিদ্র ক্যামেরা ও লেন্স ক্যামেরার তুলনা ঃ সূচীছিদ্র ক্যামেরায় প্রতিবিম্ব সম্পূর্ণরূপে Sharp হয় না। ছিদ্র যত ছোট হয় প্রতিবিম্ব তত স্পষ্ট হয় বটে কিন্তু আলোর পরিমাণ কমিয়া যায়। ছিদ্র হইতে বস্তুর দূরত্ব বদলাইলে প্রতিবিম্বের স্পষ্টতার কোন তারতম্য হয় না। লেন্স ক্যামেরায় প্রতিবিম্বগুলি খুব তীক্ষ্ণ হয়। লেন্স ক্যামেরায় অল্প সময় Exposure করিলেও ছিদ্র দিয়া একই পরিমাণ আলো প্লেটের সামান্য অংশে ফেলা যায়। ইহা লেন্স ক্যামেরার একটি প্রধান সুবিধা।

১২২। ম্যাজিক লণ্ঠন (Magic or Optical Lantern) এই যন্ত্রের সাহায্যে কোন স্বচ্ছ পদার্থ যথা কাচের ফটোগ্রাফি-স্লাইড বা ফিল্ম কিংবা কাচের উপর অঙ্কিত চিত্রের সদ্ ও বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব দূরের কোন পর্দায় নিক্ষেপ করিয়া বহু লোকের সামনে দেখানো যায়। এই যন্ত্রের নিম্নলিখিত অংশগুলি থাকে :—

(ক) **শক্তিশালী আলোকের উৎস**ঃ ইহার জন্য সাধারণতঃ আর্ক দীপ A (Arc lamp) ব্যবহার করা হয়।

এই ল্যাম্পের ধনাত্মক কার্বন দণ্ড A′ অনুভূমিক থাকে এবং ঋণাত্মক কার্বন দণ্ড B লম্বভাবে থাকে। এই আলো একটি বদ্ধ বাক্স Cএর মধ্যে থাকে। Lime light or acetylene গ্যাসও ব্যবহৃত হইতে পারে। আলোর উৎসের পশ্চাতে D প্রতিফলক থাকে। ইহাতে পশ্চাৎদিকের রশ্মিগুলি সম্মুখদিকে প্রতিফলিত হয়।

১২১নং চিত্র

(খ) **ঘনীকরণ** E ঃ ইহা দুইটি সমোত্তল লেন্সের সমবায়। ইহাদের বক্রতলদ্বয় মুখোমুখী থাকে। উৎস হইতে অপসারী রশ্মিগুচ্ছ এই দুই লেন্সের মধ্য দিয়া যাইয়া অভিসারী হয়। এই লেন্স দুইটি আলোকরশ্মিকে কেন্দ্রীভূত করে বলিয়া ইহাদিগকে **ঘনীকরণ** লেন্স বলে।

(গ) **স্লাইড্** S ঃ ইহাতে সাধারণতঃ কাচের প্লেটের উপর ফটোগ্রাফ কিংবা ফিল্ম কিংবা কাচের উপর কোন চিত্র অঙ্কন করা থাকে। এই প্লেট বা ফিল্মকে কাঠের ফ্রেমে আঁটিয়া ফাঁকের মধ্যে ঢোকান হয়। এই স্লাইডে চিত্র PQ বস্তুর কাজ করে।

(ঘ) Focussing **লেন্স** L ঃ ইহা সাধারণতঃ দুইটি লেন্সের সমবায়ে গঠিত। ইহা একত্রে রশ্মিগুলিকে অভিসারী করে। দন্ত বিশিষ্ট দণ্ড M দ্বারা স্লাইড হইতে ইহার দূরত্ব কম বা বেশী করা হয়।

ক্রিয়া ঃ আলোক A হইতে আগত অপসারি রশ্মিগুচ্ছ ঘনীকরণ লেন্সদ্বয়ের মধ্য দিয়া অতিক্রম করিয়া অভিসারি হইয়া দ্রব্য PQএর উপর পড়ে। সুতরাং দ্রব্য সমভাবে উজ্জ্বলভাবে আলোকিত হয়। স্লাইডখানি উল্‌টা করিয়া রাখা হয়। স্লাইডকে ফোকস্‌ লেন্সের বাহিরে রাখা হয় যাহাতে উল্‌টা PQ বস্তুর পর্দা Nএর উপর একটি **সদ্‌ বিবর্ধিত ও উল্‌টা** প্রতিবিম্ব হয়। L লেন্সকে M ব্যবস্থা দ্বারা এদিক-ওদিক সরাইযা এমন স্থানে আনা হয় যাহাতে প্রতিবিম্ব খুব স্পষ্ট ও প্রয়োজনীয় আকারের হয়। স্লাইডগুলি সাধারণতঃ তিন বর্গ-ইঞ্চি হয়। E পর্দায় যে প্রতিবিম্ব হয় তাহা উল্‌টা হয় বলিয়া স্লাইডকে উল্‌টা করিয়া রাখা হয়।

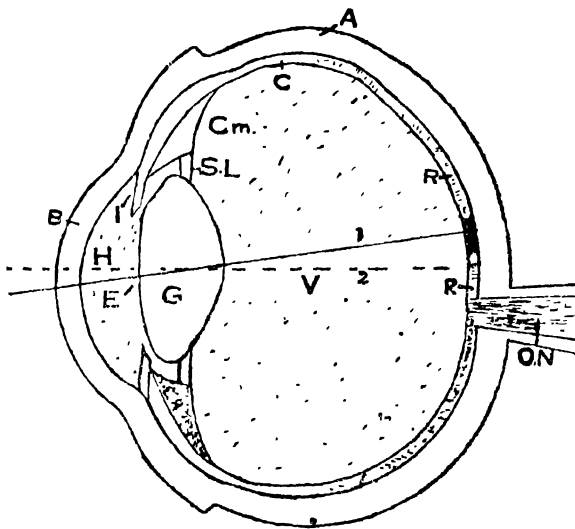
১২৩। **চোখ ঃ** চোখ একটি প্রাকৃতিক আলোকীয় যন্ত্র। ইহার গঠন ও কার্যনীতি কতকটা ক্যামেরার মত। ইহা প্রায় গোলাকার এবং কোটর (socket) মধ্যে ঘুরিতে পারে। চোখের উত্তল লেন্সের সমবায়ে অক্ষিপটে একটি উল্‌টা প্রতিবিম্ব গঠিত হয় এবং নার্ভ দ্বারা দর্শনানুভূতি মস্তিষ্কে পৌঁছায়। চোখের প্রধান প্রধান অংশগুলি এইরূপ ঃ—

(ক) **শ্বেতমণ্ডল** (Sclera A) : ইহাকে চোখের সাদা বলে। ইহা অক্ষিগোলকের (Eye-ball) বহির্ভাগে চারিপাশে (কেবল সামনের B অংশ ছাড়া) পেশী দ্বারা গঠিত অস্বচ্ছ পর্দা। ইহা অক্ষি গোলককে রক্ষা করে।

(খ) **অচ্ছোদপটল** (Cornea **B**) ঃ—ইহা অক্ষিগোলকের সামনের দিকে শ্বেত মণ্ডলের অংশ। ইহা স্বচ্ছ এবং বেশী উত্তল হয়। ইহার ব্যাসার্ধ প্রায় ৮ মিঃ মিঃ।

(গ) **ভিতর আবরণ** (Choroid **C**) ঃ– ইহা শ্বেতমণ্ডলের ভিতরে গাঢ় পিঙ্গলবর্ণের অস্বচ্ছ পেশীস্তর।

(ঘ) **কণীনিকা** (Iris **I**) ঃ—ইহা অচ্ছোদপটলের পশ্চাতে অস্বচ্ছ গোলাকার পর্দা। ইহা বিভিন্ন লোকের বিভিন্ন বর্ণের হয়। ইহার মাঝখানে একটি গোলাকার ছিদ্র আছে। ছিদ্রকে তারারন্ধ্র (Pupil E) বলে। কণীনিকা ভিতর আবরণের সঙ্গে স্বাধীন পেশী (involuntary muscle) দ্বারা সংযুক্ত। এই পেশীর দ্বারা তারারন্ধ্র ছোট বা বড় করা যায়।

(ঙ) **স্ফটিক লেন্স** (Crystalline Lens **G**):—ইহা কণীনিকার পশ্চাতে একটি উভোত্তল লেন্স। ইহা পশ্চাতের দিকে বেশী বক্র। ইহার ভিতরে বিভিন্ন প্রতিসরাঙ্ক বিশিষ্ট বিভিন্ন স্তর থাকে। ইহার সম্মুখ ও পশ্চাৎ তলের ব্যাসার্ধ যথাক্রমে ১০ ও ৬ মিঃ মিঃ। লেন্সটি কণীনিকার সঙ্গে লম্বমান তন্তু (suspensory ligaments-**SL**) দ্বারা ও ভিতর আবরণের সঙ্গে ciliary পেশী (Cm) দ্বারা যুক্ত থাকে। ইহাদের সাহায্যে লেন্সের বক্রতা কমান বা বাড়ান

১২২নং চিত্র

যায়। লেন্সের ও অচ্ছোদপটলের মধ্য-বিন্দু দিয়া অঙ্কিত রেখাকে চক্ষুর অক্ষ বলে। সাধারণ চোখের অক্ষ প্রায় ২১ মিঃ মিঃ। লেন্সের বেধ প্রায় ৪ মিঃ মিঃ, অচ্ছোদপটল ও লেন্সের দূরত্ব প্রায় ৪ মিঃ মিঃ, লেন্স ও অক্ষিপটের দূরত্ব প্রায় ১৩ মিঃ মিঃ।

(চ) লেন্সের ও অচ্ছোদপটলের মধ্যবর্তি স্থানে জলীয় পদার্থ (Aqueous Humour **H**) থাকে। লেন্সের ও অক্ষিপটের (retina) মধ্যবর্তি স্থানে

Vitreous Humour V নামক স্বচ্ছ তরল পদার্থ থাকে। লেন্সের প্রতিসরাঙ্ক প্রায় ১'৪৫। দুই Humourএর প্রতিসরাঙ্ক প্রায় ১'৩৪।

(ছ) **অক্ষিপট** (Retina) :—চক্ষু-নার্ভের (Optic nerve O. N.) শেষ অংশ ভিতরের আবরণের (Choroid) পশ্চাতে ভিতর দিকে খানিকটা ছড়াইয়া পড়িয়া একটি লাল অর্ধস্বচ্ছ পর্দার (membrane) সৃষ্টি করে। ইহাকে **অক্ষিপট** (R) বলে। ইহা আলোকসুগ্রাহী (light-sensitive)। অক্ষিপটের ভিতর দিকে মাঝামাঝি একটি হলুদে গোলাকার (১ হইতে ২ মিঃ মিঃ ব্যাস বিশিষ্ট) জায়গা আছে। ইহাকে Yellow Spot বলে। যখন Yellow Spotএ কোন প্রতিবিম্ব পড়ে তখনই প্রতিবিম্ব উজ্জ্বলতম হয়। চক্ষু নার্ভ যে জায়গা হইতে ছড়াইয়া অক্ষিপট গঠন করে সেই জায়গাকে অন্ধবিন্দু (blind spot or Optic disc) বলে কারণ এই জায়গা মোটেই আলোকগ্রাহী নহে। ইহাতে প্রতিবিম্ব পড়িলে দেখা যায় না। Yellow spot হইতে blind spotএর দূরত্ব ২'৫ মিঃ মিঃ।

১২৪। **চোখের ক্রিয়া ও দৃষ্টি** (Action of the eye, Vision) :— অচ্ছোদ পটল, aqueous humour, স্ফটিক লেন্স, vitreons humour সবগুলি মিলিয়া একটি অভিসারী সমবায় (convergent system) হয়। বাহিরের বস্তু হইতে আলোক রশ্মি এই সকলের মধ্য দিয়া অনবরতঃ প্রতিসৃত হইতে হইতে অক্ষিপটের উপর সদ্‌, উল্টা ও ক্ষুদ্রতর প্রতিবিম্ব গঠন করে। Choroidএর কাল রং চোখের আভ্যন্তরীণ প্রতিফলন বন্ধ করে। অক্ষিপট চক্ষু নার্ভ মারফত মস্তিষ্কে সংবাদ পাঠায়। যদিও অক্ষিপটে উল্‌টা প্রতিবিম্ব পড়ে তথাপি বিশেষ মানসিক অবস্থার (mental interpretation) জন্য আমরা উহাকে সোজা দেখি।

১২৫। **উপযোজন** (Accomodation) :—কোন উভোত্তল লেন্স হইতে বস্তুর দূরত্ব অনুযায়ী বস্তুর সদ্‌ প্রতিবিম্ব লেন্সের পশ্চাতে বিভিন্ন দূরত্বে গঠিত হয় কিন্তু চোখের বেলায় প্রতিবিম্ব অক্ষিপটে (retina) না পড়িলে আমরা কোন বস্তুকে দেখিতে পাই না। আবার অক্ষিগোলকের (eye-ball) আকৃতি বদলায় না সুতরাং লেন্সের ও অক্ষিপটের মধ্যের দূরত্ব বদলায় না।

সুস্থ চোখে লেন্স ও অক্ষিপটের দূরত্ব এরূপ থাকে যে বহু দূরের (অসীমের) বস্তুর সদ্ প্রতিবিম্ব অক্ষিপটে গঠিত হয়। বস্তু চোখের যত কাছে আসে প্রতিবিম্ব গঠনের নিয়মানুসারে প্রতিবিম্ব তত দূরে সরিয়া যায়। সুতরাং প্রতিবিম্ব অক্ষিপটের বাহিরে পড়ার কথা এবং বস্তুকে আমাদের দেখিতে পাওয়ার কথা নয় কিন্তু আমরা কি করিয়া তাহা দেখি? চোখের একটি নিজস্ব (inherent) ক্ষমতা আছে। যখন বস্তু নিকটে আসে তখন ciliary পেশীগুলি আপনাআপনিই সংকুচিত হয় এবং choroid আবরণকে সম্মুখের দিকে টানিয়া আনে। ইহাতে choroid সংলগ্ন suspensory ligament আল্‌গা হইয়া যায় এবং লেন্সের উপর টান কমিয়া যায়। স্থিতিস্থাপকতার জন্য লেন্সের উত্তলতা (convexity) বাড়িয়া যায় সুতরাং লেন্সের ফোকস দূরত্ব এমন ভাবে পরিবর্তিত হয় যে বস্তু দুই নির্দিষ্ট দূরত্বের মধ্যে যেখানেই থাকুক না কেন প্রতিবিম্ব অক্ষিপটেই পড়ে। লেন্সের উত্তলতা ও কার্যকরী (effective) ফোকস দূরত্ব ইচ্ছামত পরিবর্তন করিবার এই ক্ষমতাকে **উপযোজন** বলে। দুই নির্দিষ্ট বিন্দুর মধ্যে বস্তু যেখানেই থাকুক না কেন এই ক্ষমতার দ্বারা লেন্স ইহার প্রতিবিম্বকে অক্ষিপটে ফেলিবেই।

১২৬। **দুই নির্দিষ্ট বিন্দু :**—চক্ষুর এই ক্ষমতার দুইটি সীমা আছে। চোখ হইতে নিকটতম বিন্দু যেখানে কোন বস্তু থাকিলে চোখের উপযোজন ক্ষমতা সর্বোচ্চ সীমায় প্রযোগ করিয়া কোন ক্ষুদ্র বস্তুকে স্পষ্টভাবে দেখা যায় তাহাকে **অন্তিক** বা **নিকট বিন্দু** (Near Point) বলে। চোখ হইতে অন্তিক বিন্দুর দূরত্বকে স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব বলে। অন্তিক বিন্দু অপেক্ষা বস্তু চোখের নিকটবর্তি হইলে সাধারণ সুস্থ চোখ ciliary পেশীকে প্রাণপণ চেষ্টায় সংকুচিত করিয়াও লেন্সের উত্তলতা এত বাড়াইতে পারে না যাহাতে প্রতিবিম্ব অক্ষিপটে পড়ে। ইহাতে বস্তুকেও স্পষ্ট দেখা যায় না। সাধারণ চোখের এই দূরত্ব ২৫ হইতে ৩০ সেঃ মিঃ। বয়সের সঙ্গে ইহা বাড়ে বা কমে। যে দূরত্ব হইতে ক্ষুদ্র অক্ষরকে (letter) এক চোখে দেখা যায় তাহাই এই দূরত্ব।

যে দূরতম বিন্দুতে কোন ক্ষুদ্র বস্তু রাখিলে চোখ আল্‌গাভাবে অর্থাৎ

suspensary ligament কে কোনরূপ শ্রান্ত না করিয়া সেই ক্ষুদ্র বস্তুকে স্পষ্টভাবে দেখিতে পায় তাহাকে **প্রান্তিক** বা **দূরবিন্দু** (Far Point) বলে। সুস্থ চোখের পক্ষে এই বিন্দু অসীমে অবস্থিত হওয়া উচিৎ কিন্তু কার্যত ইহা খুব দূরবর্তি একটি বিন্দু। দুই বিন্দুর মধ্যবর্তি দূরত্বকে **দৃষ্টির পাল্লা** (range of view) বলে।

১২৭। **কৃত্রিম চোখ**ঃ—চোখের উপরোক্ত বিষয়গুলি একটি সোজা পরীক্ষার দ্বারা নির্ণয় করা যায়। একটি কাচের বড় আয়তক্ষেত্রিক (rectangular) পাত্র A লও। মনে কর এই পাত্রের একদিকের তল B বাহিরের দিকে উত্তল আছে। এই তলের একটু দূরে পাত্রের ভিতর একটি উভোত্তল লেন্স C এবং পাত্রের শেষের দিকে একটি ঘসা কাচের পর্দা D রাখ। পাত্রে জল ঢাল। এখন A হইল চক্ষুগোলক, B হইল অচ্ছোদপটল, C হইল স্ফটিক লেন্স, D হইল অক্ষিপট, জল হইল Aqueous ও vitreous humour. অতএব পাত্রটি একটি কৃত্রিম চোখ। জলে একটু eosene দাও। Bএর

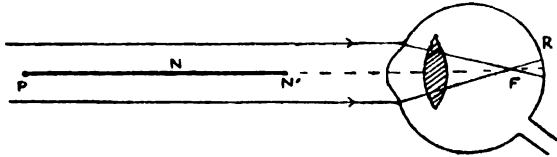
১২৩নং চিত্র

সামনে একটি উজ্জ্বল বস্তু ধর। লেন্স ও পর্দার দূরত্ব কম বেশী করিলে পর্দায় বস্তুর একটি স্পষ্ট উল্টা প্রতিবিম্ব পাওয়া যাইবে। রঙিন জলের মধ্য দিয়া রশ্মির পথ দেখা যাইবে। বস্তুকে চোখ হইতে **দূরে** সরাও। পর্দায় (অক্ষিপটে) প্রতিবিম্ব অস্পষ্ট হইবে। স্পষ্ট প্রতিবিম্ব লেন্সের দিকে আগাইয়া আসিবে। এখন তিন উপায়ে পর্দায় পুনরায় স্পষ্ট প্রতিবিম্ব ফেলা যায়ঃ যথা (১) পর্দাকে লেন্সের দিকে সরাইয়া অর্থাৎ চোখকে ছোট করিয়া, (২) লেন্সকে পর্দার দিকে সরাইয়া, (৩) লেন্সকে পাতলা করিয়া অর্থাৎ উত্তলতা (convexity) কমাইয়া। আমাদের চোখে তৃতীয় উপায় অবলম্বিত হয়। ইহাকেই উপযোজন বলে। পরীক্ষায় পর্দা স্থির রাখিয়া পাতলা লেন্স রাখিলে পর্দায় স্পষ্ট প্রতিবিম্ব পড়িবে।

বস্তুকে চোখের খুব নিকটে আনিলে প্রতিবিম্ব পর্দার (অক্ষিপটের) পিছনে

গঠিত হয়। এখন স্পষ্ট প্রতিবিম্ব পর্দায় আনিতে হইলে লেন্সের উত্তলতা বাড়াইতে হইবে। এই পরীক্ষা হইতে উপযোজন ভালভাবে বুঝা যায়।

১২৮। **চোখের দোষ** (Defects of the vision) :—সুস্থ (normal) চোখের নিকট-বিন্দু ২৫ সেঃ মিঃ ও দূর-বিন্দু অসীমে অবস্থিত অতএব সুস্থ চোখ উপযোজনের দ্বারা ২৫ সেঃ মিঃ হইতে বহুদূর পর্যন্ত অবস্থিত বস্তুকে স্পষ্টভাবে দেখিতে পায়। চোখের লেন্সের বা অক্ষিগোলকের গঠনের ত্রুটির জন্য চোখের দৃষ্টির পাল্লা এতদপেক্ষা কম হইলে **চোখকে দোষযুক্ত** বলা হয়। চোখের দোষ চারি প্রকারের হয় যথা ; (ক) **স্বল্পদৃষ্টি** (Short sight or Myopia), (খ) **দীর্ঘদৃষ্টি** (Hypermetropia), (গ) **ক্ষীণ দৃষ্টি** বা **চালশে** (Presbyopia), (ঘ) **বিষম দৃষ্টি** (Astigmatism) :—প্রথম দুইটি দোষ সাধারণতঃ দেখা যায়।

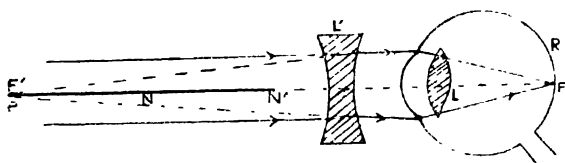
(ক) **স্বল্পদৃষ্টি : এই দোষটি কি ?** চোখের এই দোষের জন্য কোন নির্দিষ্ট বিন্দু (মনে কর P বিন্দু) হইতে আরও দূরের বস্তু স্পষ্ট ভাবে দেখা যায় না। P হইল এই চোখের দূর-বিন্দু। P হইতে আরও দূরে অবস্থিত কোন বস্তু হইতে আগত সমান্তরাল রশ্মি অক্ষিপটে প্রতিবিম্ব গঠন না করিয়া অক্ষিপটের

১২৪নং চিত্র

সম্মুখে Fতে প্রতিবিম্ব গঠন করে। সাধারণ চোখের দূর-বিন্দু হইল অসীম। এই দোষযুক্ত চোখের দূর-বিন্দু P অসীম হইতে অনেক কাছে থাকে। দূর-দৃষ্টির (distant vision) জন্য এই চোখের লেন্স খুব বেশী অভিসারী (convergent) হয়। নিকট-দৃষ্টির (near vision) জন্য এই চোখের কোন অসুবিধা হয় না কারণ উপযোজনের সাহায্যে এই চোখ কোন নির্দিষ্ট বিন্দু (মনে কর N') পর্যন্ত কোন বস্তুকে স্পষ্টভাবে দেখিতে পায় যদিও এই চোখের নিকট-বিন্দু

N′ সাধারণ চোখের নিকট-বিন্দু N অপেক্ষা কাছে হয়। সোজা কথায় দাঁড়ায় যে এই দোষযুক্ত চোখ দূরের জিনিষ স্পষ্ট দেখিতে পায় না কিন্তু কাছের জিনিষ স্পষ্ট দেখিতে পায়।

কারণ :—দুইটি কারণে স্বল্প-দৃষ্টি দোষ উদ্ভূত হয় : (ক) যদি অক্ষি-গোলক খুব লম্বা হয় কিংবা (খ) যদি লেন্স খুব অভিসারী হয় অর্থাৎ লেন্সের ফোকস-দূরত্ব খুব কম হয় তবে চোখে এই দোষ দেখা যায়।

প্রতিকারের ব্যবস্থা (Remedy) :—এই চোখের সম্মুখে সুবিধাজনক ফোকস দূরত্ব বিশিষ্ট অবতল লেন্স চশমারূপে ব্যবহার করিতে হয়। এই ব্যবস্থায় চোখের লেন্সের অভিসারীত্ব (convergence) কমিয়া যায় অর্থাৎ ফোকস-দূরত্ব বাড়ে এবং অক্ষিপটে প্রতিবিম্ব গঠন করে।

মনে কর d = চোখ হইতে দূর-বিন্দু P এর দূরত্ব। এই দূরত্ব পর্যন্ত স্বল্প দৃষ্টি সম্পন্ন চোখ স্পষ্টভাবে দেখিতে পায়। মনে কর L′ অবতল লেন্স চোখের

১২৫নং চিত্র

সম্মুখে এমনভাবে রাখা হইয়াছে যে বহু দূরের কোন বস্তু হইতে আগত রশ্মিগুচ্ছ অর্থাৎ সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ লেন্সের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত হইয়া d দূরত্বে অবস্থিত দূর-বিন্দু P হইতে আসে বলিয়া মনে হয়। সুতরাং এই চোখ ঐ দূরের বস্তুকে d দূরত্বে P বিন্দুতে দেখে এবং চোখ উহার প্রতিবিম্বকে ঠিক অক্ষিপটে ফেলে কাজেই ঐ বস্তুকে স্পষ্ট দেখা যায়।

এখন প্রমাণ করিতে হইবে যে অবতল লেন্সের ফোকস দূরত্ব $f = d$.

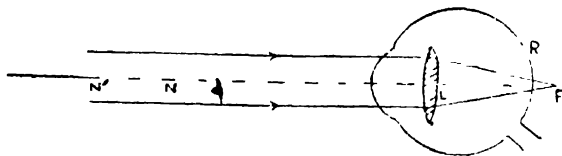
আমরা পাইতেছি $\frac{1}{v} - \frac{1}{d} = \frac{1}{fe}$ ···(ক) (fe = চোখের লেন্সের ফোকস দূরত্ব)

চোখের সম্মুখে অবতল লেন্স বসাইলে দূর-বিন্দু অসীমে সরিয়া যাইবে।

$$\therefore \quad \frac{1}{v}-\frac{1}{\infty}=\frac{1}{fe}+\frac{1}{f}=\frac{1}{v}-\frac{1}{d}+\frac{1}{f} \text{ (ক) হইতে}$$

$$or \quad \frac{1}{f}=\frac{1}{d}\left(\therefore \quad \frac{1}{\infty}=0 \right) \therefore \quad f=d$$

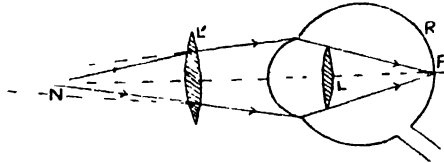
অর্থাৎ অবতল লেন্সটা চোখের খুব কাছে থাকিলে লেন্সের ফোকস দূরত্ব = এই চোখের দূরবিন্দুর দূরত্ব d। f ধনাত্মক হওয়ায় লেন্স অবতল হইবে বোঝা যায়।

(খ) **দীর্ঘদৃষ্টি : এই দোষটি কি?** চোখের এই দোষের জন্য খুব কাছের বস্তু স্পষ্টভাবে দেখা যায় না। সাধারণ চোখের নিকট-বিন্দুর দূরত্ব হইল প্রায় ২৫ সেঃ মিঃ (মনে কর N বিন্দু)। এই দোষযুক্ত চোখের নিকট বিন্দু ২৫ সেঃ মিঃ এর বেশী হইবে (মনে কর N′ বিন্দু)। এই চোখ N′ এর নিকটের

১২৬নং চিত্র

বস্তু স্পষ্টভাবে দেখিতে পায় না। এই চোখের ciliary পেশীকে কোনরূপ পরিশ্রান্ত না করিলে বহু দূরের বস্তু হইতে আগত সমান্তরাল রশ্মি অক্ষিপটের পশ্চাতে F বিন্দুতে প্রতিবিম্ব গঠন করে কিন্তু উপযোজনের সাহায্যে চোখের লেন্স প্রতিবিম্বকে অক্ষিপটে ফেলে সুতরাং দূর-দৃষ্টির জন্য কোন অসুবিধা হয় না। বস্তু যতই কাছে আসে প্রতিবিম্ব ততই F হইতে তথা অক্ষিপট হইতে আরও দূরে গঠন করে কিন্তু উপযোজনের সাহায্যে N′ পর্যন্ত কোন স্থানে বস্তু আসিলে প্রতিবিম্ব অক্ষিপটে পড়িতে পারে। N′ এর পর কোন স্থানে বস্তু আসিলে উপযোজন ক্ষমতা কার্যকরী হয় না। সোজা কথায় দাঁড়ায় যে এই দোষযুক্ত চোখ দূরের জিনিষ স্পষ্ট দেখিতে পায়, কিন্তু কাছের জিনিষ স্পষ্ট দেখিতে পায় না।

কারণ :—দুইটি কারণে দীর্ঘদৃষ্টি দোষ উদ্ভূত হয় ; যথা (ক) যদি অক্ষিগোলক খুব ছোট হয় কিংবা (খ) যদি লেন্স কম অভিসারী হয় অর্থাৎ লেন্সের ফোকস-দূরত্ব বেশী হয় তবে চোখে এই দোষ দেখা যায়।

প্রতিকারের ব্যবস্থা :—এই চোখের সম্মুখে সুবিধাজনক ফোকস-দূরত্ব বিশিষ্ট L′ উত্তল লেন্স চশমারূপে ব্যবহার করিতে হয়। এই ব্যবস্থায় চোখের লেন্সের ফোকস-দূরত্ব কম হয় এবং অক্ষিপটে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়।

N বিন্দুতে অবস্থিত কোন বস্তু হইতে আগত রশ্মি যাহাতে অক্ষিপটে কেন্দ্রীভূত হয় সেইজন্য L′ লেন্সের এমন ক্ষমতা হওয়া চাই যে ঐ বস্তু হইতে

১২৭নং চিত্র

আগত রশ্মিগুচ্ছ এই চোখের নিকট-বিন্দু N′ হইতে আসে মনে হয় অর্থাৎ Nএ অবস্থিত বস্তুর প্রতিবিম্ব N′এ গঠিত হয়।

(ক) যদি এই দোষযুক্ত চোখের স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব $=d$ হয় এবং সাধারণ চোখের উহা $=D$ হয় এবং উত্তল লেন্সের ফোকস-দূরত্ব $=f$ হয় তবে

$$\frac{1}{d}-\frac{1}{D}=-\frac{1}{f}.$$

(খ) মনে কর $v=$ অক্ষিপট হইতে লেন্সের দূরত্ব, $f_o=$ চোখের লেন্সের ফোকস-দূরত্ব, $d=$ দোষযুক্ত চোখের নিকট-বিন্দু হয়।

আমরা জানি $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$. $\quad\therefore\ \frac{1}{v}-\frac{1}{d}=\frac{1}{f_o}$.........(ক)

মনে কর f_1 ফোকস-দূরত্বের লেন্স চোখের সামনে রাখা হইল যাহাতে দোষযুক্ত চোখের নিকট-বিন্দুর দূরত্ব ২৫ সেঃ মিঃ

$$\therefore \frac{1}{v}-\frac{1}{25}=\frac{1}{f_e}+\frac{1}{f_1} \quad \text{বা } \frac{1}{v}-\frac{1}{25}=\frac{1}{v}-\frac{1}{d}+\frac{1}{f_1} \cdots \text{(ক) হইতে}$$

$$\text{বা } \frac{1}{f_1}=\frac{1}{d}-\frac{1}{25}\text{। এখন } d>25, \therefore \frac{1}{d}<\frac{1}{25} \quad \therefore f_1 \text{ ঋণাত্মক।}$$

(গ) **ক্ষীণদৃষ্টিঃ** ইহা এক প্রকার দূর-দৃষ্টি দোষ। বৃদ্ধ বয়সের জন্য এই প্রকার দূরদৃষ্টির দোষ উদ্ভূত হয়। বয়োবৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে চোখের উপযোজন ক্ষমতা ক্রমশঃ কমিয়া আসে সেইজন্য বৃদ্ধলোক পড়িবার সময় বই চোখ হইতে দূরে সরাইয়া লইয়া যান। এই কারণে বাল্যকালে স্বল্পদৃষ্টি দোষ থাকিলে পরবর্তি বয়সে উহা সারিয়া যাইতে পারে কিন্তু এই দূরদৃষ্টি দোষ বয়োবৃদ্ধির সঙ্গে বাড়ে। ক্ষীণ দৃষ্টি দোষের প্রতিকারের জন্য অল্প ক্ষমতা বিশিষ্ট (of low-power) উত্তল লেন্স ব্যবহার করিতে হয়।

(ঘ) **বিষম দৃষ্টিঃ** এই দোযের জন্য চোখ একই দূরত্বে অবস্থিত অনুভূমিক ও লম্ব রেখা একই সঙ্গে স্পষ্ট দেখিতে পায় না। অচ্ছোদ-পটলের ও লেন্সের তলের বক্রতার অসমতার (inequality in the curvature) জন্যই এই দোষের উদ্ভব হয়। এই চোখ দিয়া একটি জালের অনুভূমিক তারগুলি ভাল দেখিতে পাওয়া যায় কিন্তু লম্ব তারগুলি অস্পষ্ট দেখা যায়। এই দোষের প্রতিকারের জন্য cylindrical lens ব্যবহৃত হয়।

অঙ্কঃ 1. A long sighted person whose nearest distance of distinct vision is 50 c m. finds that this distance is reduced to 20 c.m. by using spectacles. Find the nature and focal length of the lens used. (P. U. 1920)

অঙ্কের সর্তানুসারে চোখ হইতে ২০ সেঃ মিঃ দূরের কোন বস্তুর প্রতিবিম্ব ৫০ সেঃ মিঃ দূরে গঠিত হইবে। এখানে চোখের স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব = ৫০ সেঃ মিঃ = D = v, u = ২০ সেঃ মিঃ

যদি f = চশমার ফোকস দূরত্ব হয় তবে

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f} \quad \text{বা } \frac{1}{D}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f} \quad \text{বা } \frac{1}{50}-\frac{1}{20}=-\frac{3}{100}=\frac{1}{f}$$

$$\therefore\ f = -\frac{100}{3}\text{ c.m.} = -33\frac{1}{3}\text{ c.m.}$$

∴ লেন্স উত্তল হইবে এবং ফোকস দূরত্ব $33\frac{1}{3}$ c.m.

2. A short-sighted man, who can read clearly when the print is not more than 3 inches from his eye requires spectacles to enable him to see a distant view. What kind of lenses does he need and what must be their focal length ? Draw as accurately as you can, the path of ray of light from a distant object through the lens of the man's eye (*a*) without the spectacles, (*b*) with the spectacles.

(C. U. 1909)

দূর-বিন্দু = 3 ইঞ্চি, $\quad\therefore\ \frac{1}{v} - \frac{1}{3} = \frac{1}{f_1}$

যদি f = লেন্সের ফোকস দূরত্ব হয় তবে

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{3} + \frac{1}{f}.\quad \text{বা}\ \frac{1}{f} = \frac{1}{3}\quad \therefore\ f = 3\ \text{ইঞ্চি}$$

∴ লেন্স অবতল হইবে। ফোকস দূরত্ব = 3 ইঞ্চি

3. A short sighted person can read printed matter distinctly when it is held at 15 c.ms. from his eyes ; find the focal length of the glasses which he must use if he wishes to read with ease a book at a distance of 60 c.ms. (C. U. 1932).

$$D = 15\text{ c.m.}$$

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{15} = \frac{1}{f_e}\ \text{এবং}\ \frac{1}{v} - \frac{1}{60} = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{15} + \frac{1}{f}.$$

$$\therefore\ \frac{1}{f} = \frac{1}{15} - \frac{1}{60} = \frac{1}{20}\quad \therefore\ f = +20\text{ c.m.}$$

∴ লেন্স অবতল হইবে ও ফোকস দূরত্ব = 20 সেঃ মিঃ হইবে।

১২৯। চোখ ও ক্যামেরার তুলনা (Comparison between the eye and photographic camera) :

ক্যামেরা	চোখ
(ক) আলো-নিরুদ্ধ (light-tight) বাক্স। ইহার ভিতরটা কাল রং করা।	(ক) অক্ষিগোলকের বাহিরে অস্বচ্ছ ও শক্ত পর্দা দিয়া আলো নিরুদ্ধ করা থাকে। ভিতরে কাল রঞ্জকের (black-pigment) ঘন আস্তরণ থাকে।
(খ) অভিসারী লেন্স দ্বারা সদ্, উল্‌টা ও ক্ষুদ্রতর প্রতিবিম্ব প্লেটের উপর গঠিত হয়। প্লেট ও লেন্সের মধ্যের দূরত্ব বাক্সের দৈর্ঘ্যকে ছোট-বড় করিয়া পরিবর্তন করা হয়।	(খ) অচ্ছোদপটল, aqueous humour, লেন্স ও vitreous humour সবগুলি মিলিয়া অভিসারী লেন্সের মত কাজ করে এবং অক্ষিপটে সদ্, উল্‌টা ও ক্ষুদ্রতর প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। উপযোজন ক্ষমতা দ্বারা চোখের লেন্সের ফোকস দূরত্ব পরিবর্তন করা যায়।
(গ) একটি সুতীক্ষ্ণ (sensitive) প্লেটের উপর প্রতিবিম্ব গঠিত হয় এবং পরে রাসায়নিক উপায়ে প্রতিবিম্বকে স্থায়ী করা হয়।	(গ) অক্ষিপটে প্রতিবিম্ব গঠিত হয় এবং ইহার অনুভূতি optic স্নায়ু (nerve) দ্বারা মস্তিষ্কে (brain) পৌঁছায়।
(ঘ) একটি stop দ্বারা বাক্সের মধ্যে প্রবিষ্ট আলোর পরিমাণ নিয়ন্ত্রিত করা হয়।	(ঘ) চোখের তারারন্ধ্রের আকার কণীনিকার স্বাধীন পেশীর দ্বারা ছোট-বড় করিয়া চোখের ভিতরে প্রবিষ্ট আলোর পরিমাণ বাড়ান বা কমান যায়।
(ঙ) লেন্সের সামনে একটি ঢাক্‌না দিয়া বাহিরের আলোর প্রবেশ-পথ বন্ধ করা যায়।	(ঙ) চোখের পাতা (eye-lids) দিয়া আলোকের পথ বন্ধ করা যায়।

১৩০। দ্বিনেত্র-দৃষ্টি (Binocular Vision) বা **দুই চোখের সুবিধা :** আমরা যেমন দুইটি কাণ দিয়া একটি শব্দ শুনিতে পাই তেমন দুইটি চোখ দিয়া একটি বস্তু দেখিতে পাই। দুই চোখের অক্ষ বস্তুর অভিমুখে (direction)

স্থাপিত হয় এবং দুই চোখের জন্য দুইটি প্রতিবিম্ব অক্ষিপটে গঠিত হইলেও মস্তিষ্ক দুই প্রতিবিম্বকে একটি প্রতিবিম্বে পরিণত করে। দুইটী চোখ একই বস্তুকে বিভিন্ন কোণ হইতে দেখে বলিয়া দুইটি প্রতিবিম্ব হুবহু এক রকম হয় না, একটু পার্থক্য থাকে ; ডান চোখ বস্তুর ডান দিকটা একটু বেশী দেখে এবং বাম চোখ বস্তুর বাম দিকটা একটু বেশী দেখে। সুতরাং দুই চোখ একসঙ্গে দেখিলে দুইটী প্রতিবিম্ব উপর উপর পড়িয়া যায় ফলে বস্তুর বেধ ও আকার বোঝা যায়।

দুই চোখের আর একটি সুবিধা এই যে ইহাদের সাহায্যে দূরত্বটা ভাল বোঝা যায়। এক চোখ বন্ধ করিয়া সূচের ছিদ্রের মধ্য দিয়া সূতা পড়ান শক্ত।

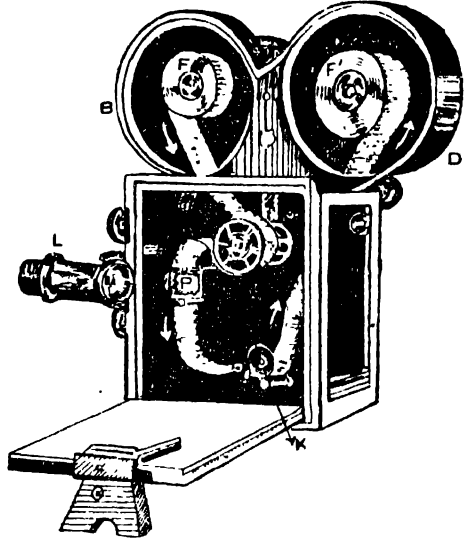
১৩১। **দৃষ্টি-নির্বন্ধ** (Persistence of Vision : অক্ষিপটে কোন বস্তুর যে প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তাহা চোখের সামনে হইতে বস্তু সরাইবার সঙ্গেই সঙ্গেই অন্তর্হিত হয় না। প্রতিবিম্বের অনুভূতি (impression) বস্তু সরাইবার পরও প্রায় $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড পর্যন্ত অক্ষিপটে বর্তমান থাকে, সুতরাং কোন বস্তুকে চোখের সামনে দ্রুত বেগে ঘুরাইয়া প্রতি সেকেণ্ডে পর পর দশটার বেশী প্রতিবিম্ব অক্ষিপটে গঠন করা যায় তবে একটির প্রতিবিম্ব অক্ষিপট হইতে অন্তর্হিত হইতে না হইতেই পরবর্তি প্রতিবিম্ব গঠিত হইবে। ফলে আমরা বস্তুটির একটি নিরবচ্ছিন্ন প্রতিবিম্ব দেখিতে পাইব। এইরূপে বস্তু সরাইয়া লইলেও অক্ষিপটে অনুভূতির কিছুক্ষণ অবস্থিতিকে **দৃষ্টি নির্বন্ধ** বলে।

দৃষ্টান্ত : (ক) নিউটনের সাত বর্ণের চাকতি (Colour Disc) জোরে ঘুরাইলে অক্ষিপটে একটি বর্ণের অনুভূতি অন্তর্হিত হইতে না হইতেই অপর বর্ণের অনুভূতি আসিয়া পড়ে। ফলে আমরা চাকতিতে সাতবর্ণের মিশ্রিত অনুভূতি (প্রায় সাদাবর্ণ) দেখিতে পাই। (পরে দেখুন)। (খ) ঘূর্ণায়মান বিদ্যুৎপাখার পাতগুলির (blades) দিকে তাকাইলে মনে হইবে এক নিরবচ্ছিন্ন চাকতি ঘুরিতেছে। (গ) একটি বড় কাটির একটি প্রান্তে কাপড় জড়াইয়া আগুণ ধরাইয়া কাটিটির অপর প্রান্ত ধরিয়া জোরে ঘুরাইলে একটি

জলন্ত বৃত্ত দেখিতে পাইবে। (খ) একটি বৃত্তাকার কার্ডবোর্ডের এক ধারে একটি পাখীর ছবি আঁক এবং বিপরীত ধারে একটি খাঁচার ছবি আঁক। এখন কার্ড-বোর্ডকে জোরে ঘুরাইলে পাখীর ও খাচার অনুভূতি মিশিয়া যাইবে এবং পাখীকে খাচার মধ্যে দেখা যাইবে।

১৩২। **চলচ্চিত্র বিদ্যা** (Cinematography):—এই দৃষ্টিনির্বন্ধ নীতির উপর **চলচ্চিত্র বিদ্যা** নির্ভর করে। একটি গতিশীল (moving) বস্তুর $\frac{১}{১৬}$ সেকেণ্ড অন্তর কতকগুলি ছবি (photographs) তুলিয়া ছবিগুলিকে ম্যাজিক লণ্ঠনের সাহায্যে যদি একই সময় ($\frac{১}{১৬}$ সেকেণ্ড) অন্তর পর পর কোন পর্দায় ফেলা যায় তবে বিচ্ছিন্ন ছবিগুলি নিরবচ্ছিন্ন গতিশীল বস্তুতে পরিণত হইবে। মনে কর একটি ঘর এক ঘণ্টা ধরিয়া আগুণে পুড়িতেছে। এখন যদি কোন ক্যামেরাব সাহায্যে $\frac{১}{১৬}$ সেকেণ্ড অন্তর জলন্ত ঘরেব অনেকগুলি ছবি তুলিয়া সেই ছবিগুলিকে ম্যাজিক লণ্ঠনের সাহায্যে $\frac{১}{১৬}$ সেকেণ্ড অন্তর পর্দায় ফেলা যায় তবে আমরা বিচ্ছিন্ন ছবিগুলি না দেখিয়া এক ঘণ্টা ধরিয়া ঘর পোড়ার নিরবচ্ছিন্ন ছবি দেখিব। অতএব চলচ্চিত্র বিদ্যায় দুইটি যন্ত্র দরকার:—

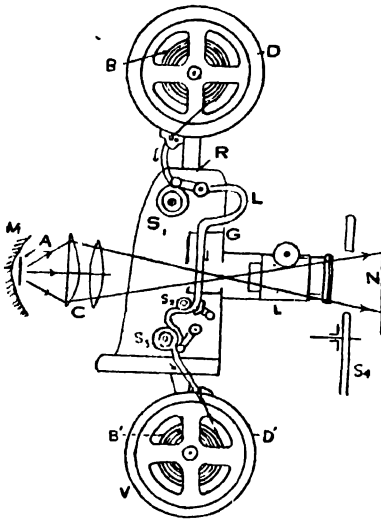
(ক) **গতিশীল বস্তুর ছবি তুলিবার ক্যামেরা** (Motion Picture Camera):—ইহা একটি বিশেষ ধরণের ক্যামেরা যাহার দ্বারা কোন গতিশীল বস্তুর বা কোন ঘটনার (যেমন ঝড়ের মধ্যে জাহাজ ডুবি, আগুণে ঘর পোড়া, অস্ত্রাগার লুণ্ঠন করা) পর পর কতকগুলি ছবি মাত্র ক্ষণিকের জন্য ($\frac{১}{১০০}$ সেকেণ্ড আলোকপাত (exposure to light) সুগ্রাহী সেলুলয়েড ফিতার (sensitized celluloid ribbon) উপর তোলা হয়। ১২৮নং চিত্রে ক্যামেরার লেন্স L দ্বারা কোন গতিশীল বস্তুর ফটো P পর্দায় তোলা হয়। একটি দীর্ঘ ফিতা আলো-নিরুদ্ধ B বাক্সের মধ্যে নাটাই (reel) Fতে জড়ান থাকে। B বাক্স হইতে ফিতা কয়েকটি ডলনার (roller) মধ্য দিয়া ক্যামেরার P প্রকোষ্ঠে ঢোকে। এই প্রকোষ্ঠ L লেন্সের ফোকস-তলে অবস্থিত। এই প্রকোষ্ঠ হইতে ফিতা আর একটি আলোক-নিরুদ্ধ বাক্স Dএর F′ নাটাইতে জড়াইয়া যায়। এই ক্যামেরায় ফটো তোলার কাজ যখন চলে তখন B বাক্সের F নাটাই হইতে যে হারে ফিতা খুলিয়া আসে ঠিক সেই হারে

D বাক্সের F′ নাটাইতে ফিতা জড়াইয়া যায়। B বাক্স হইতে ফিতা ১/১৬ হইতে ১/২০ সেকেণ্ড অন্তর একবার করিয়া খুলিয়া ক্যামেরায় আসে অর্থাৎ ফিতাটা এক সেকেণ্ডের মধ্যে কিছুক্ষণ খুলে, কিছুক্ষণ থামে। সুতরাং প্রতি সেকেণ্ডে গতিশীল বস্তুর ১৬ হইতে ২০ টা ফটো উঠে। ফিতা যখন থামে ঠিক তখনই গতিশীল বস্তু হইতে আলোকরশ্মি ফিতার উপর পড়ে এবং সঙ্গে সঙ্গে ফিতায় ফটো উঠে। ফিতা যখন খুলে তখন একটি ঘূর্ণায়মান ঢাকনার দ্বারা আলোকরশ্মি বিচ্ছিন্ন হয়, তখন ফিতার উপর কোন আলোকরশ্মি পড়ে না, বস্তুর কোন ফটো উঠে না। ফিতার ফটোগুলি পরে develope করিয়া positive প্রস্তুত করা হয়।

১২৮নং চিত্র

(খ) **পর্দায় ফটো ফেলিবার যন্ত্র** (Projection Apparatus): এই যন্ত্রে উজ্জল আলোর জন্য সাধারণতঃ আর্ক দীপ A (arc lamp) ব্যবহার করা হয়। একটি অবতল প্রতিফলক M আলোক রশ্মিকে জড় করিবার জন্য (condensing) ব্যবহার করা হয়। এই যন্ত্রে লেন্সের সমবায় (condenser C), একটি দণ্ড (stand) ও ফিল্মের ফিতা থাকে। (১২২ অনুচ্ছেদে আলোকীয় লণ্ঠন দেখ)। এই যন্ত্রের সাহায্যে প্রতি সেকেণ্ডে ২০টি ছবি পর্দায় ফেলা হয়।

A হইতে আগত উজ্জ্বল রশ্মি C ঘনীকরণ লেন্সের মধ্য দিয়া অভিসারী হইয়া G ছিদ্রের ও L লেন্সের মধ্য দিয়া অপসারী হইয়া N পর্দায় পড়ে। B ফিল্ম D নাটাইতে জড়ান থাকে। D নাটাই হইতে ফিতা ঘড়ির মত যন্ত্রের S (clock-

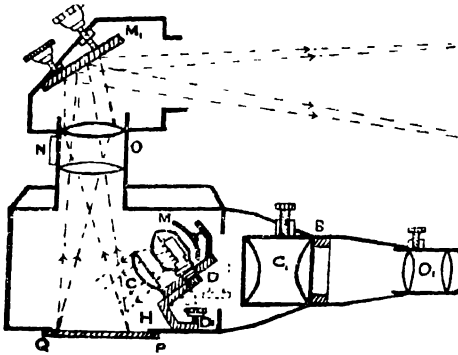
work arrangement)' সাহায্যে এমনভাবে খুলিয়া আসে যে যন্ত্রের G ছিদ্রের মুখ দিয়া সেকেণ্ডে প্রায় ১৬ খানি ছবি অতিক্রম করে। ফিল্মের প্রত্যেক ছবির উচ্চতা এক থাকে। অন্য একটি স্বয়ংক্রিয় যন্ত্রের সাহায্যে ফিল্মের প্রত্যেক ছবি G ছিদ্রের সম্মুখে প্রায় $\frac{1}{20}$ সেকেণ্ড সময় স্থির থাকিয়া চলিয়া যায়। S_4 ঘূর্ণায়মান ঢাকনা (shutter ছবিতে পৃথকভাবে দেখান হইয়াছে) দিয়া প্রত্যেক দুই ছবির মাঝখানে $\frac{1}{80}$ সেকেণ্ড সময় আলোক রশ্মি বিচ্ছিন্ন করা হয়। তৎপরে পরবর্তি ছবি $\frac{1}{20}$ সেকেণ্ড থাকে। এইরূপ ফিল্মে ছবি ও অন্ধকার চলিতে থাকে। B′ ফিল্ম নীচের D′ নাটাইতে জড়াইয়া যায়।

১২৯নং চিত্র

ফিল্মের ধাবগুলি নিয়মিতভাবে খাঁজকাটা (perforation) থাকে এবং S_1 ও S_2 চাকাগুলিতে দাঁত থাকে। ফিল্ম চলিবার সময় চাকার দাঁতগুলি ফিল্মের খাঁজের মধ্যে মধ্যে পড়িয়া যায়। ইহাতে ফিল্মের সবিরাম গতি (intermittent motion) নিয়ন্ত্রিত হয়। যাহাতে ফিল্ম টানেতে (tension) ছিঁড়িয়া না যায় সেইজন্য L ও P দুইটি ফাঁস (loop) থাকে। একটি ব্যবস্থার দ্বারা প্রত্যেক ছবিকে G ছিদ্রের সীমানার মধ্যে রাখা হয়।

ছবি যে পর্য্যায়ক্রমে (order) তোলা হয় সেই পর্য্যায়ক্রমে পর্দায় ফেলা হয়। প্রত্যেক সেকেণ্ডে প্রায় ১৬ খানা ছবি পর্দায় ফেলা হয়। সুতরাং দৃষ্টি-নির্বন্ধ নীতি অনুযায়ী একটি ছবির অনুভূতি শেষ হইতে না হইতেই অপর ছবির অনুভূতি চোখে পড়ে। সেইজন্য ছবিগুলি বিচ্ছিন্ন হইলেও পর্দায় একটি নিরবচ্ছিন্ন ঘটনার ছবি আমরা দেখি।

অনেক সময় খুব মন্থর ঘটনা ছবিতে খুব দ্রুত দেখান যায় বা খুব দ্রুত ঘটনা

ছবিতে খুব মন্থরভাবে দেখান যায়। ইহা নির্ভর করে ছবির গতির উপর। আমরা জানি বীজ হইতে বড় চারা জন্মাইতে অনেক সময় লাগে কিন্তু একই ফিল্মে চারা গাছের কয়েক সপ্তাহ অন্তর বিভিন্ন সময়ের বৃদ্ধির ছবি তুলিয়া সেই ছবিগুলি যদি প্রতি সেকেণ্ডে ১৬ খানা করিয়া পর্দায় ফেলা যায় তবে আমরা চারা গাছের দ্রুত বৃদ্ধি দেখিব।

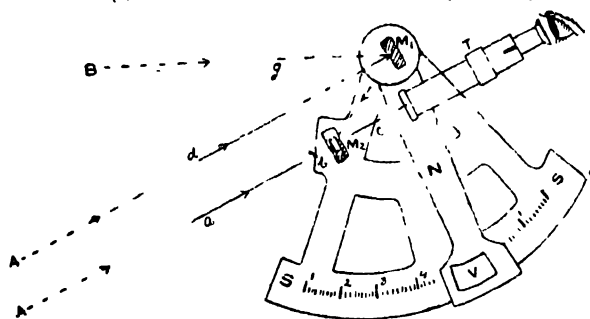
১৩৩। **এপিডায়াস্কোপ** (Epi-diascope): এই যন্ত্র দিয়া **অস্বচ্ছ** পদার্থের (যথা চিত্রাঙ্কনের নক্সার ও ছবির) প্রতিবিম্ব দূরবর্তি পর্দায় ফেলা হয়। একটি তীব্র আর্ক দীপ L হইতে আলোকরশ্মি M প্রতিফলক হইতে প্রতিফলিত হইয়া ও C ঘনীকরক লেন্স দ্বারা কেন্দ্রীভূত হইয়া অস্বচ্ছ PQ দ্রব্যে আপতিত হয়। এখন PQ দ্রব্য দীপকের কাজ করে। PQ হইতে আলোকরশ্মি লম্বভাবে

১৩০নং চিত্র

(vertically) উপর দিকে চলিয়া O লেন্সদ্বয়ের মধ্য দিয়া প্রতিসৃত হইয়া M_1 দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া S পর্দায় পড়ে। PQএর উপর O লেন্সদ্বয় ঠিক লম্বভাবে থাকে। O লেন্সদ্বয় হইতে PQর দূরত্ব Oএর ফোকস দূরত্বের চেয়ে একটু বেশী। M_1 দর্পণ অনুভূমিকের সঙ্গে ৪৫° ডিগ্রিতে নত থাকে। সুতরাং পর্দায় একটি সদ্ বিবর্ধিত ছবি পাওয়া যায়। N দন্তুর ও কাঁটার (rack and pinion) সাহায্যে PQ ও Lএর মধ্যে দূরত্ব বদলান যায়। ঘনীকরণ লেন্স Cর ও ফোকস করণ (focussing) লেন্স Oর দিয়া ল্যাণ্টার্ণ স্লাইডের ছবি পর্দায় ফেলা যায়।

১৩৪। সেক্সটান্ট (Sextant): নীতি: দর্পণের কৌণিক বিবর্তন (rotation) = ২ × প্রতিফলিত রশ্মির কৌণিক বিবর্তন।

যন্ত্রের কার্য্য ঃ এই যন্ত্র দিয়া কোন দূরবর্তি দুইটি বস্তুর মধ্যে কৌণিক দূরত্ব মাপা হয় কিংবা কোন জ্যোতিষ্কের যথা—সূর্য, নক্ষত্র ক্ষিতিজ (horizon) হইতে উন্নতি (altitude) মাপা হয়।

যন্ত্রের বিবরণ: SS′ একটি বৃত্তাকার অংশাঙ্কিত (graduated) ফ্রেম। ইহার একধারে একটি দূরবীক্ষণ T আছে। অপরদিকে একটি M_2 দর্পণ আঁটা আছে। এই দর্পণের উপরার্ধ স্বচ্ছ ও নিম্নার্ধ প্রলেপ দেওয়া (silvered)। দূরবীক্ষণটি M_2র অভিমুখে মুখ ফেরানো থাকে। আর একটি দর্পণ M_1, ফ্রেমের সহিত সমকোণে আঁটা থাকে। এই দর্পণের সহিত N বাহু আটা থাকে। বাহুর শেষ প্রান্তে একটি ভার্ণিয়ার V থাকে। ভার্ণিয়ারটি বৃত্তাকার স্কেল SS′ এর উপর ঘুরিতে পারে। এই SS′ বৃত্তাংশ ৬০° ডিগ্রী অর্থাৎ একটি বৃত্তের ⅙ অংশ, সেইজন্য ইহাকে সেক্সট্যান্ট্ যন্ত্র বলে। যখন N বাহু SS′ স্কেলের O অবস্থানে আসে তখন M_1 এবং M_2 দর্পণ সমান্তরাল হয়। N বাহু যতটা বির্বতিত হয় M_1 দর্পণ ততটা বির্বতিত হয়।

যন্ত্রের কার্য্য প্রণালী ঃ—মনে কর দুইটি দূরবর্ত্তী বস্তু A ও B এর কৌণিক দূরত্ব বাহির করিতে হইবে। যন্ত্রকে এমন ভাবে রাখ যাহাতে M_2 দর্পণের স্বচ্ছ

১৩১নং চিত্র

অংশ দিয়া A বস্তুকে দূরবীক্ষণে দেখা যায়। মনে কর A হইতে দূরবীক্ষণে

আগত রশ্মির পথ abc রেখা দ্বারা প্রকাশিত হয়। এখন বাহু N এর সাহায্যে M_1 দর্পণকে ঘুরাইয়া যাও যতক্ষণ না A হইতে আগত রশ্মি পর পর M_1 এবং M_2 দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া দূরবীক্ষণে না ঢোকে। এই অবস্থানে Aএর দুইটি প্রতিবিম্ব দূরবীক্ষণে দেখা যাইবে। ভার্ণিয়ারকে খুব আস্তে আস্তে সরাও যাহাতে এই দুইটি প্রতিবিম্ব মিশিয়া যায়। মনে কর দুই দর্পণে প্রতিফলিত রশ্মির পথ হইল dM_1bc। এখন স্কেলে ভার্ণিয়ারের পঠন (reading) লও। এখন বাহু Nকে আস্তে আস্তে ঘুরাও যাহাতে বস্তু Bর প্রতিবিম্ব A এর প্রতিবিম্বের সঙ্গে মিশিয়া যায়। মনে কর B হইতে আগত রশ্মি দুই দর্পণে প্রতিফলিত হইয়া gM_1bc পথে দূরবীক্ষণে ঢোকে। পুনরায় ভার্ণিয়ারের পঠন লও। এখন A ও Bএর কৌণিক দূরত্ব $gM_1b = 2 \times M$ দর্পণের কৌণিক বিবর্তন = ভার্ণিয়ারের দুই পঠনের পার্থক্য $\therefore$ ভার্ণিয়ারের দুই পঠনের পার্থক্যকে দ্বিগুণ করিলেই A ও B এর কৌণিক দূরত্ব পাওয়া যায়। অনেক সময় SS′ স্কেলটা অর্ধ ডিগ্রীতে অঙ্কন করা থাকে কিন্তু অঙ্কনের সংখ্যাগুলি ডিগ্রীতেই থাকে। ইহাতে ভার্ণিয়ারের পঠনকে দুই দিয়া গুণ করিতে হয় না।

প্রশ্ন।

1. Explain how a convex lens can be used as a magnifying reading glass. Show that if the eye is close to the lens, and the image at the least distance of distinct vision D, the object will appear magnified $\left(\frac{D}{f}+1\right)$ diameter, f being the numerical focal length of the lens. [P. U. 1919 ; vide C. U. 1913].

2. Describe a telescope. Explain by means of a neat diagram how the magnification is produced. [C. U.—1931 ; Dac. U. 1928].

3. A compound microscope is adjusted for viewing the distinct image of an object. If the distance of the object from the object-glass is now slightly increased, explain what re-adjustment of the instrument would be necessary for obtaining a distinct image again. Will the magnification be the same as before ? Pat. U. 1929].

4. Describe a compound microscope. Explain by means of a diagram how the manification is produced.
[C. U. 1921 ; Pat. U. 1929 ; P. U. 1912 ; All. U. 1922, '22 ; Dac. U. 1932].

5. Give examples of the practical uses of a convex lens to form
(*a*) a real magnified image
(*b*) a real diminished image
(*c*) a virtual image
Draw diagrams in each cace [C. U. 1930].

6. Describe the construction of a celestial telescope. What modification will make it suitable for terrestrial purposes? [Pat. U. 1930].

7. Describe some simple form of telescope. Draw a diagram showing the paths of several rays of light through the telescope, indicating clearly the nature and positions of the image formed. [C. U. 1936].

8. Describe the Galilean telescope and trace the path of the rays through it when the telescope is directed towards a distant object and adjusted for normal vision.
[C. U. 1925, '33; Pat. U. 1927; P. U. 1912; Dac. U. 1930].

9. Describe the construction of a simple telescope which will give erect images of distant objects. Why are images in cheap telescopes usally coloured? [Dac. U. 1930].

10. In what way is an opera-glass different from an astronomical telescope? [C. U. 1931].

11. Explain how two lenses are arranged to form a binocular. Illustrate your answers by means of a diagram.

12. Describe the principle and action of a Sextant. [C. U. 1941]

13. What are the essential parts of a Magic Lantern? State the utility of the different parts. [Pat. U. 1932].

14. Explain what is meant by short sight and show how it may be corrected by means of spectacles. Illustrate your answer with diagrams.

15. Can you explain why short-sighted people always wear spectacles of concave lenses? [Dac. U. 1930].

16. Describe the eye as an optical instrument. [P. U. 1923].

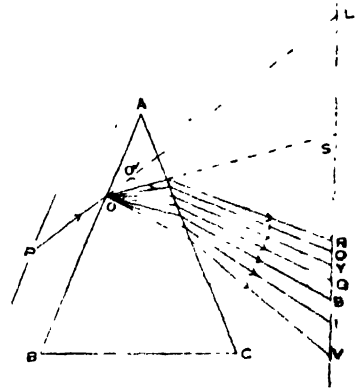
17. Why does a short-sighted person use a concave lens? The focal length of such a lens is 6 inches and a small object is placed 18 inches from the lens; draw a figure showing the path of rays by which the image is formed, and determine its position.

18. What are the two principal defects of vision? Explain how they are rectified with the help of spectacles.
[C. U. 1932; P. U. 1920].

19. What is accommodation and how it is effected in the human eye? Illustrate your answer by a diagram. [P. U. 1930].

20. Describe the photographic camera, and explain how you would take a photograph with its help. [C. U. 1934; Pat. U. 1932].

আলোকের বিচ্ছুরণ (Dispersion), বিসরণ (Deviation) এবং বর্ণালি তত্ত্ব (spectroscopy).

১৩৫। বিচ্ছুরণ: পরীক্ষা: (ক) একটি সূক্ষ্ম ছিদ্র (slit) Pর ভিতর দিয়া সূর্যরশ্মি PO (অথবা যে কোন সাদা আলোকের রশ্মি) প্রবেশ করাইয়া একটি অন্ধকার ঘরে অবস্থিত কোন কাচ প্রিজম ABCর AB তলে ফেল। দেখিবে যেন প্রিজমের AB প্রতিসারক তল ছিদ্রের সঙ্গে সমান্তরাল হয়। এখন প্রিজমের মধ্য দিয়া প্রতিসরণের পর নির্গত (emergent) রশ্মিকে একটি লম্ব সাদা পর্দা Sতে ফেল। এখন নির্গত রশ্মির দুইটি বিশেষত্ব দেখা যায়: (ক) নির্গত রশ্মি প্রিজমের ভূমির (base) দিকে বাঁকিয়া যায় (deviated)। (খ) নির্গত রশ্মি বিভিন্ন বর্ণের আলোকে বিশ্লিষ্ট হয়। এই বিশ্লিষ্ট রশ্মি পর্দায় মোটামুটি সাত বর্ণের একটি আলোক পটিতে (band RV) পরিণত হয়। এই পটির

১৩২নং চিত্র

একপ্রান্ত হইতে অপর প্রান্ত পর্যন্ত পর পর **লাল** (red), **নারাঙ্গ** (orange), **হলুদে** (yellow), **সবুজ** (green), **নীল** (blue), **গাঢ়নীল** (indigo), **বেগুণী** (violet) বর্ণ দেখা যায়। ইহাকে ইংরাজিতে **Vibgyor** বলে (প্রত্যেক বর্ণের ইংরাজি নামের আদি অক্ষর লইয়া এই কথাটি

হইয়াছে)। নিউটন ১৬৭৬ খৃষ্টাব্দে উপরোক্ত পরীক্ষা সম্পাদন করেন। এই সকল বর্ণকে আমরা আকাশে রামধনুতে দেখিতে পাই। সাদা আলোর এইরূপ বিভিন্ন বর্ণের আলোকে বিশ্লেষণকে **বিচ্ছুরণ** বলে। রংঙিন পটিকে **বর্ণালি** (spectrum) বলে।

সৌর বর্ণালিতে প্রকৃতই অসংখ্য বিভিন্ন বর্ণের আলো থাকে কিন্তু এই বর্ণগুলি এমনভাবে পর পর মিশিয়া থাকে যে ইহাদিগকে সহজে দেখা যায় না। খালি চোখে আমরা সাতটি বর্ণের একটি সাদা আলো দেখিতে পাই।

পরীক্ষা : (খ) পর্দার প্রত্যেক বিশ্লিষ্ট বর্ণের জায়গায় একটি সূচী-ছিদ্র (pin-hole) করিয়া বিভিন্ন বর্ণকে পৃথক করিয়া অপর একটি প্রিজমের মধ্য দিয়া অতিক্রম করাইলে আমরা দেখিব যে (১) বেগুণী বর্ণের আলোর বিসরণ (deviation) সব চেয়ে বেশী, লাল বর্ণের আলোর বিসরণ সব চেয়ে কম এবং অন্যান্য বর্ণের আলোর বিসরণ এই দুই মাত্রার মাঝামাঝি। (২) বর্ণালিতে বেগুণী বর্ণের আলোর পটি সবচেয়ে বেশী বিস্তৃত এবং লাল আলোর পটি সবচেয়ে কম বিস্তৃত। (৩) দ্বিতীয় প্রিজমের মধ্য দিয়া যাইবার পর সাত বর্ণের আলো আর বিশ্লিষ্ট হয় না। সাত বর্ণের আলোককে আর বিশ্লিষ্ট করা যায় না। এইরূপ যে আলোককে বিশ্লিষ্ট করা যায় তাহাকে **যৌগিক** (compound) আলো বলে। যে আলোককে বিশ্লিষ্ট আর করা যায় না তাহাকে **মৌলিক** (monochromatic) আলো বলে।

নিউটন উপরোক্ত পরীক্ষাদ্বয় হইতে নিম্নলিখিত সিদ্ধান্তে উপনীত হন :—

(ক) সাদা আলো মৌলিক নহে, উহা যৌগিক আলো এবং সাতটি মৌলিক বর্ণের সমাবেশে গঠিত। (খ) সাদা আলো প্রিজমের মধ্য দিয়া যাইলে বিশ্লিষ্ট হয়। (গ) বিভিন্ন বর্ণের আলোর বিসরণ বিভিন্ন হয়। এই ঘটনাকে অনেক সময় বলা হয়—বিভিন্ন আলোর **প্রতিসরণীয়তা** (refrangibility) বিভিন্ন। নির্গত সাত রশ্মির মধ্যক হলুদে রশ্মি-আপতিত রশ্মি POO'Lর অভিমুখের সঙ্গে যে কোণ উৎপন্ন করে (১৩২নং চিত্রে LO'Y) তাহা মূলরশ্মির বিসরণ বা চ্যুতি।

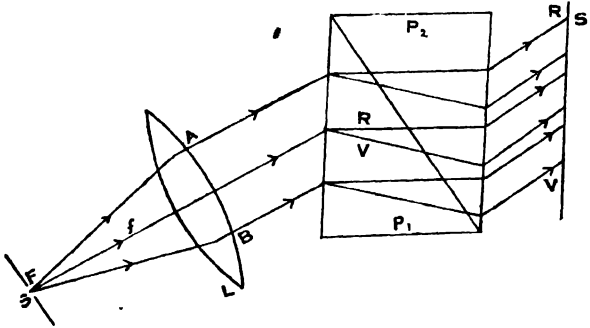
১৩৬। বিচ্ছুরণের কারণ : আলোক শক্তি তরঙ্গ বিশেষ। আলোক তরঙ্গ জল-তরঙ্গের মত তির্যক তরঙ্গ (transverse waves)। বিভিন্ন

বর্ণের আলোকের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (wave length) বিভিন্ন হয়। দৃশ্য সূর্য-বর্ণালির মধ্যে লাল আলোক তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সর্বচেয়ে বেশী—প্রায় ৮০০০ A. U. = ৮০ × ১০⁻⁶ সেঃ মিঃ) (তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের এককে Angstrom Unit (A. U.) বলে। ১ A. U. = ১০⁻⁸ সেঃ মিঃ) এবং বেগুণী আলোক তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সবচেয়ে কম—প্রায় ৪০০০ A. U. = ৪০ × ১০⁻⁶ সেঃ মিঃ। আলোক তরঙ্গের একটি গুণ আছে যে কোন প্রতিসরক (refracting) মাধ্যমের মধ্য দিয়া অতিক্রম করিলে বিভিন্ন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলোকরশ্মি বিভিন্ন পরিমাণে প্রতিসৃত হয়। সেইজন্য আলোক রশ্মির বিচ্ছুরণ দেখিতে পাওয়া যায়। একই কারণে কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বিভিন্ন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট আলোক তরঙ্গের জন্য বিভিন্ন হয়। কাচ প্রিজমের মধ্য দিয়া লাল ও বেগুণী আলোক তরঙ্গ অতিক্রম করিলে উহাদের প্রতিসরাঙ্ক বিভিন্ন হইবে।

১৩৭। **বিভিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট ঈথার তরঙ্গ ঃ** যত প্রকার ঈথার তরঙ্গ আছে তাদের মধ্যে অল্প সংখ্যক তরঙ্গই আমাদের অক্ষিপটে অনুভূতি জাগায় এবং আমরা এই সকল তরঙ্গকে দেখিতে পাই। লাল ও বেগুণী বর্ণের আলোক তরঙ্গ এবং ইহাদের মধ্যবর্তি বর্ণের তরঙ্গগুলিকেই আমরা দেখিতে পাই সুতরাং বর্ণালির দৃশ্য অংশের রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ৮০০০ A. U. (লালের) হইতে ৪০০০ A. U. (বেগুণী) পর্যন্ত সীমাবদ্ধ থাকে। লাল তরঙ্গের বেশী তরঙ্গ দৈর্ঘ্য (অবলোহিত Infra-red) বিশিষ্ট তরঙ্গ এবং বেগুণী তরঙ্গের কম তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (অতি বেগুণী Ultra violet) বিশিষ্ট তরঙ্গ আমরা দেখিতে পাই না। (প্রথম ভাগ দ্বিতীয় খণ্ড দেখ)। তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের নির্দিষ্ট মান বিভিন্ন লোকের পক্ষে সামান্য পরিবর্তিত হয়।

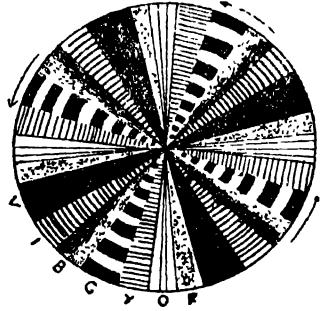
১৩৮। **সাদা আলোর পুনর্যোজন** (Recomposition of white light) :

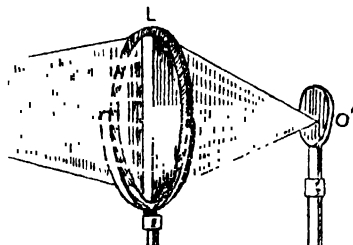
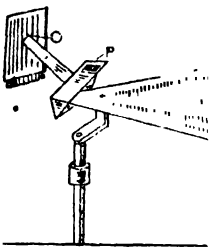
সাদা আলোকে যেমন প্রিজম দ্বারা সাত বর্ণের বিভিন্ন আলোকে বিশ্লিষ্ট করা যায় সেইরূপ সাত বর্ণের বিভিন্ন আলোককে নিম্নলিখিত উপায়ে সাদা আলোকে পরিণত করা যায় :—

(ক) একই পদার্থে গঠিত ও একই প্রতিসরণ কোণ বিশিষ্ট দুইটি প্রিজম P^1 ও P^2 এমনভাবে রাখ যাহাতে উহাদের প্রতিসারক তলদ্বয় লম্ব (vertical) বিপরীতমুখী হয়। এই ব্যবস্থায় দুইটি প্রিজম একত্রে একটি সমান্তরাল তল-বিশিষ্ট একটি কাচ-ফলক (parallel faced glass slab) গঠন করে। একটি আবর্ণ (achromatic) উভোত্তল L লেন্সের প্রধান ফোকস Fতে অবস্থিত একটি লম্ব ও সূক্ষ্ম ছিদ্র Sএর মধ্য দিয়া সাদা আলোর একটি রশ্মিগুচ্ছ L লেন্সে পড়িলে নির্গত AB রশ্মিগুচ্ছ পরস্পর সমান্তরাল হইবে। এখন এই সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ

১৩৩নং চিত্র

উপরোক্ত P^1 প্রিজমের মধ্য দিয়া অতিক্রম করিলে বিচ্ছুরিত (dispersed) হইবে এবং এই বিচ্ছুরিত রশ্মিগুচ্ছ P^2 প্রিজমের মধ্য দিয়া যাইলে পুনর্যোজিত (recombined) হইয়া সাদা ও সমান্তরাল রশ্মিরূপে নির্গত হইবে এবং S' পর্দায় সাদা আলোরূপে দেখা যাইবে।

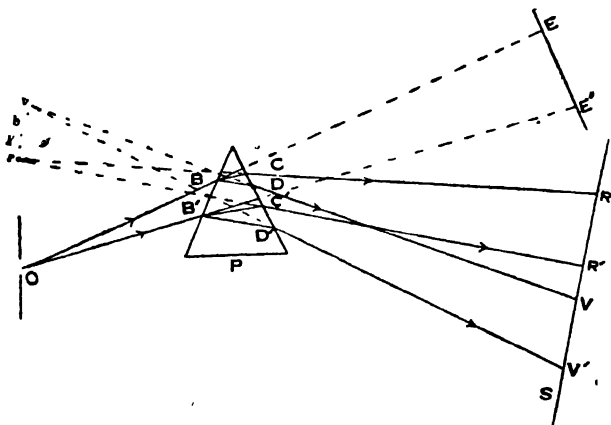
কারণঃ এইরূপ হইবার কারণ এই যে P_1 প্রিজমের দ্বারা উৎপন্ন বিচ্ছুরণ (dispersion) অর্থাৎ বিভিন্ন বর্ণের রশ্মিগুলির কৌণিক পৃথকীকরণ (angular separation) P_2 প্রিজমের দ্বারা উৎপন্ন সমান ও বিপরীত বিচ্ছুরণ দ্বারা প্রশমিত হয় অর্থাৎ P_1 প্রিজম সাদা আলোর মৌলিক বর্ণের আলোক রশ্মিগুলিকে যতটা তফাৎ করে P_2 প্রিজম ঠিক ততটা রশ্মিগুলিকে কাছে আনিয়া মিলাইয়া পুনরায় সাদা আলো উৎপন্ন করে। পর্দায় সাদা আলোর দুই সীমান্ত রশ্মির বিচ্ছুরণের জন্য পটির দুই সীমায় লাল ও বেগুণী আলো দেখা যায়।

(খ) **নিউটনের বর্ণ-চাকতি** (Colour Disc) : এই যন্ত্রে প্রায় এক ফুট ব্যাসবিশিষ্ট বৃত্তাকার কার্ডবোর্ড চাকতি থাকে। চাকতিকে চারিটি সমান অংশে ভাগ করা হয়। সৌর বর্ণালিতে বিভিন্ন বর্ণের আলো বিভিন্ন পরিমাণে জায়গা দখল করে। সৌর বর্ণালিতে সাতটি বর্ণ যে অনুপাতে জায়গা দখল করে সেই অনুপাতে প্রত্যেক ভাগকে বর্ণালির পর্যায়ক্রমে (order) সাত বর্ণে রঞ্জিত করা হয়। চাকতির কেন্দ্রের মধ্য দিয়া একটি মোটা দণ্ড আবদ্ধ থাকে। সেই দণ্ডটি একটি ঘূর্ণায়মান চাকার অক্ষের (axle) সঙ্গে যুক্ত থাকে। চাকাটি খুব জোরে ঘুরাইলে চাকতিও খুব জোরে ঘুরিবে কিন্তু চাকতির প্রত্যেক অংশের সাতটি বর্ণ পৃথকভাবে দেখা যাইবে না। ঘূর্ণায়মান অবস্থায় সমস্ত চাকতির বর্ণ সাদা (বা greyish white) মনে হইবে।

১৩৪নং চিত্র

কারণ ঃ এখানে সাতবর্ণ পরস্পর মিশে না বটে কিন্তু চাকতির দ্রুত ঘূর্ণন-গতির জন্য অক্ষিপটে একটি বর্ণের অনুভূতি শেষ হইতে না হইতেই অপর বর্ণের

১৩৫নং চিত্র

অনুভূতি জাগ্রত হয়। সুতরাং দৃষ্টি-নির্বন্ধের জন্য অক্ষিপটে সাত বর্ণের অনুভূতি একের সঙ্গে অপরে মিশিয়া যায়। সেইজন্য চাকতিকে সাদা দেখায়।

(গ) O ছিদ্র দিয়া সাদা আলো P প্রিজমে পড়িয়া সাত বর্ণে বিচ্ছুরিত হয়। যদি বিচ্ছুরিত আলোক রশ্মির পথে একটি বড় উভোত্তল লেন্স L এমনভাবে বসান যায় যে বিভিন্ন রশ্মিগুলি O'তে কেন্দ্রীভূত হয় তবে O'তে পর্দা রাখিলে সাদা আলো দেখা যাইবে (১৩৫নং চিত্র)।

১৩৯। অশুদ্ধ ও শুদ্ধ বর্ণালি (Impure and Pure Spectrum) : যদি কোন উপায়ে সাদা আলোর রশ্মিগুচ্ছ হইতে **একটি মাত্র** রশ্মি পৃথক করিতে পারা যাইত তবে উহা প্রিজমের মধ্য দিয়া যাইয়া সাতটি বিভিন্ন বর্ণে বিশ্লিষ্ট হইয়া পর্দার উপর পড়িতে পারিত এবং আমরা পর্দায় পৃথকভাবে পাশাপাশি অবস্থিত সাতটি বর্ণের বর্ণালি দেখিতে পাইতাম কিন্তু কার্য্যতঃ আমরা একটি রশ্মি কোন উপায়েই পৃথক করিতে পারি না। সব সময়েই আমরা কতকগুলি রশ্মির গুচ্ছ দেখিতে পাই। গুচ্ছের সব রশ্মিই একসঙ্গে বিচ্ছুরিত হয় এবং প্রত্যেক রশ্মি নিজ নিজ বর্ণালি পর্দায় নিক্ষেপ করে। ফলে পর্দায় একটি বর্ণালির কতকাংশের

১৩৬নং চিত্র

উপর অপর একটি বর্ণালির কতকাংশ পড়িয়া যায়। এইরূপ বর্ণালি যাহাতে একটি বর্ণের আলোর উপর অপর বর্ণের আলো পড়ে তাহাকে **অশুদ্ধ বর্ণালি** বলে। কেবল বর্ণালির দুই প্রান্তে লাল ও বেগুনী রশ্মি পৃথকভাবে বোঝা যায়।

যে বর্ণালিতে সাত বর্ণের আলোককে পৃথক ও স্পষ্টভাবে দেখা যায় তাহাকে **শুদ্ধ বর্ণালি** বলে। শুদ্ধ বর্ণালিতে বিভিন্ন বর্ণগুলি প্রত্যেকে স্বতন্ত্র স্থান অধিকার করে এবং এক বর্ণের সঙ্গে অপর বর্ণের মেশামেশি হয় না। ১৩৬ চিত্রে একটি রশ্মিগুচ্ছের দুই প্রান্ত-রশ্মি OB ও OB'র বর্ণালি পর্দায় যথাক্রমে RV ও R'V' স্থানে পড়িয়াছে। মধ্যবর্তি রশ্মিগুলির বর্ণালি মধ্যবর্তি স্থানে পড়ে; ফলে R হইতে V' পর্যন্ত বর্ণালিতে একটির উপর অপর একটি বর্ণ পড়ে। ইহাতে বর্ণালি অশুদ্ধ হয়।

১৪০। **শুদ্ধ বর্ণালি প্রস্তুত** (Production of Pure Spectrum): শুদ্ধ বর্ণালি প্রস্তুতের জন্য নিম্নলিখিত সর্ত (Condition) থাকা চাই :—

(ক) আপতিত রশ্মিগুচ্ছ যত চওড়া হইবে রশ্মির সংখ্যাও তত বাড়িবে এবং পর্দায় বর্ণালির সংখ্যাও তত বাড়িবে এবং বর্ণালি তত বেশী অশুদ্ধ হইবে। সুতরাং শুদ্ধ বর্ণালি প্রস্তুত করিবার জন্য যতদূর সম্ভব **সূক্ষ্ম ছিদ্র** (narrow slit) দিয়া আপতিত রশ্মিগুচ্ছকে লইয়া আসিতে হয়। ইহাতে আপতিত রশ্মিগুচ্ছ খুব সূক্ষ্ম হইবে।

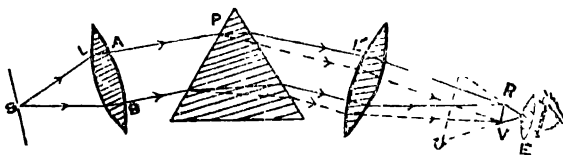
(খ) আপতিত রশ্মিগুচ্ছ সূক্ষ্ম হইলেও ইহারা প্রিজমের প্রতিসারক তলের বিভিন্ন অংশে আপতিত হয় বলিয়া ইহাদের আপতন কোণের পার্থক্য থাকে সেইজন্য প্রিজমের মধ্য দিয়া বিচ্ছুরিত হইবার পর বিভিন্ন বর্ণের আলোক রশ্মি-গুলি পর্দায় এক বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত (focussed) হয় না। বিভিন্ন বর্ণের বিশ্লিষ্ট রশ্মিগুলিকে পর্দায় এক বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত করিতে হইলে দুইটি উপায় অবলম্বন করিতে হয়:

(১) প্রিজমকে মধ্যক (medial or axial) রশ্মির (হলুদে রশ্মির) ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থানে রাখিতে হয়। এই অবস্থায় বিভিন্ন বর্ণালিগুলি পর্দায় বিভিন্ন বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হয়। অর্থাৎ সব লাল রশ্মি একই বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হয়। এইরূপ নারঙ্গ, হলুদে, সবুজ, গাঢ়নীল, নীল, বেগুনী রশ্মিগুলি পর পর পর্দায় সাতটি বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হয়।

(২) প্রিজমের পূর্বে বা পরে উভোতল লেন্স রাখিলে ইহাতে আপতিত রশ্মি ও নির্গত রশ্মি সমান্তরাল হয়।

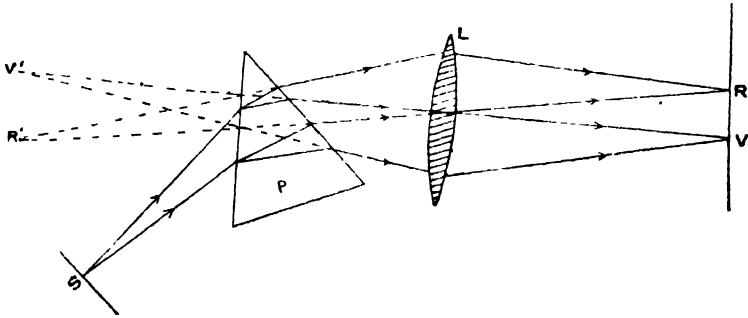
অতএব শুদ্ধ বর্ণালি প্রস্তুতের জন্য নিম্নলিখিত সর্ত দরকার :

(ক) ছিদ্র সরু হওয়া চাই। (খ) মধ্যক-রশ্মির জন্য ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থানে প্রিজমকে রাখিতে হইবে। (গ) নির্গত রশ্মিকে কেন্দ্রীভূত করিবার জন্য প্রিজম ও পর্দার মধ্যে একটি উভোত্তল লেন্স এবং আপতিত রশ্মিকে সমান্তরাল করিবার জন্য ছিদ্র ও প্রিজমের মধ্যে একটি উভোত্তল লেন্স রাখা দরকার। (ঘ) প্রিজমের প্রতিসারক তল ছিদ্রের সঙ্গে সমান্তরাল হইবে।

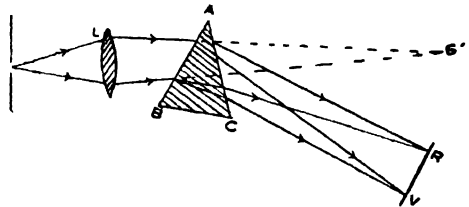
প্রথম পদ্ধতি : উজ্জ্বল সাদা আলো খুব সরু ছিদ্র O এর মধ্য দিয়া অতিক্রম করাও। ছিদ্র Oকে L উত্তল লেন্সের প্রধান ফোকসে রাখ যাহাতে নির্গত রশ্মিগুচ্ছ AB মধ্যক-রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থানে স্থাপিত প্রিজম Pতে সমান্তরাল হইয়া পড়ে এবং প্রিজম হইতে নির্গত একই বর্ণের রশ্মিগুলি সমান্তরাল হয়। প্রত্যেক রশ্মিই বর্ণালি উৎপন্ন করে। L′ উত্তল লেন্স প্রিজম

১৩৭নং চিত্র

ও পর্দার মধ্যে এমনভাবে রাখ যে এই লেন্স বিভিন্ন বর্ণের রশ্মিগুলিকে পর্দায় কেন্দ্রীভূত করে। পর্দায় শুদ্ধ ও সদ বর্ণালি RV উৎপন্ন হয়। E অভিনেত্র (eye-piece) দিয়া চোখ অসদ্ বিবর্ধিত শুদ্ধ বর্ণালি *rv* দেখিবে। এই নীতি বর্ণালিবীক্ষণ (spectrometer) প্রস্তুত করিতে অবলম্বিত হয়। O হইল collimator, L হইল collimator-এর লেন্স, P হইল প্রিজম, L′ হইল দূরবীক্ষণের অভিলক্ষ্য, E হইল অভিনেত্র (১৩৮ অনুঃ দেখ)। এই পদ্ধতি সর্বোৎকৃষ্ট পদ্ধতি।

দ্বিতীয় পদ্ধতি : মনে কর S সূক্ষ্ম ছিদ্র সাদা আলো দ্বারা উজ্জ্বলভাবে আলোকিত আছে। রশ্মির পথে P প্রিজম হলদে রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থানে স্থাপিত আছে। চোখ প্রিজম হইতে ছিদ্রের সমদূরত্বে ও ছিদ্রের একই দিকে V′ R′ উল্টা, অসদ ও শুদ্ধ বর্ণালি দেখিবে। এই বর্ণালিতে বিভিন্ন বর্ণের

প্রতিবিম্ব স্পষ্ট ও পৃথক স্থান দখল করে। মনে হয় লাল আলো ছিদ্রের অসদ প্রতিবিম্ব R′ হইতে আসিতেছে এবং বেগুনী আলো ছিদ্রের অসদ প্রতিবিম্ব V′ হইতে আসিতেছে। এখন প্রিজম ও পর্দার মধ্যে যদি একটি উত্তল লেন্স L এমনভাবে রাখা যায় যে লেন্স হইতে ছিদ্রের দূরত্ব লেন্সের ফোকস দূরত্বের চেয়ে বেশী হয় তবে R′ ও V′-এর মধ্যবর্তি প্রত্যেক পৃথক রশ্মির প্রতিবিম্ব পর্দায় সদ ও শুদ্ধ প্রতিবিম্ব গঠন করিবে। অর্থাৎ R′ V′ বর্ণালির পর্দায় একটি সদ ও শুদ্ধ

১৩৮নং চিত্র

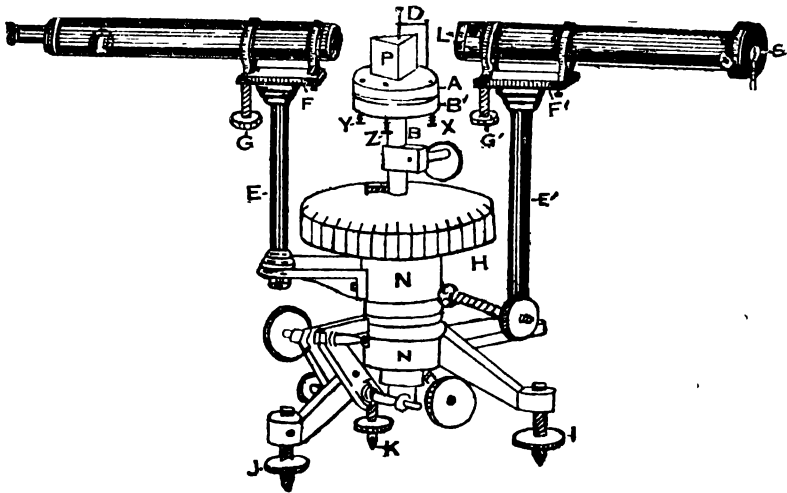
প্রতিবিম্ব পাইব। সুতরাং পর্দায় একটি শুদ্ধ ও সদ বর্ণালি RV পাইব যাহাতে প্রত্যেক বর্ণ তাহাদের প্রতিসরণীয়তা অনুসারে বিভিন্ন স্থান দখল করে। RV সদ বর্ণালিতে বেগুনী V থাকে প্রিজমের ভূমির দিকে এবং লাল R থাকে শিরের (edge) দিকে কিন্তু R′ V′ অসদ বর্ণালিতে বেগুনী V′ থাকে শিরের দিকে এবং লাল R′ থাকে ভূমির দিকে।

তৃতীয় পদ্ধতিঃ S একটি সাদা আলোক দ্বারা উজ্জ্বলভাবে আলোকিত লম্ব ছিদ্র। L লেন্সকে পর্দা ও ছিদ্রের মধ্যে এমন স্থানে রাখ যাহাতে পর্দায় ছিদ্র S-এর স্পষ্ট ও সদ প্রতিবিম্ব S′ গঠিত হয়। এখন প্রিজম ABCকে লেন্স ও পর্দার

১৩৯নং চিত্র

মধ্যে এমনভাবে রাখ যাহাতে প্রিজম হল্‌দে রশ্মির ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থানে থাকে এবং প্রিজমের প্রতিসারক তল ছিদ্রের সঙ্গে সমান্তরাল হয়। এই ব্যবস্থায় একই বর্ণের সকল রশ্মি সমানভাবে বাঁকিয়া যাইবে এবং ইহারা পর্দায় একই স্থানে প্রতিবিম্ব গঠন করিবে। বিভিন্ন বর্ণের প্রতিসরণীয়তা বিভিন্ন হওয়ায় প্রিজম বিভিন্ন বর্ণের প্রতিবিম্বকে পর্দায় বিভিন্ন স্থানে ফেলিবে। সুতরাং পর্দায় শুদ্ধ ও সদ বর্ণালি RV পাওয়া যাইবে।

১৪১। **বর্ণালিবীক্ষণ** (Spectrometer): এই যন্ত্র দিয়া শুদ্ধ বর্ণালি প্রস্তুত করা যায় এবং নানা প্রকারের বর্ণালি পরীক্ষা ও মাপ করা যায়।

যন্ত্রের বিবরণ: এই যন্ত্রে নিম্নলিখিত অংশ থাকে:

(ক) **Collimator**—C: ইহা একটি দূরবীক্ষণিক (telescopic) অনুভূমিক ফাঁপা নল। নলের ভিতর প্রান্তে (অর্থাৎ যে প্রান্ত P প্রিজমের দিকে

১৪০নং চিত্র

থাকে) একটি উত্তল লেন্স L থাকে। অপর প্রান্তে অন্য একটি N নলের মুখে (১৪১নং চিত্র) একটি ছিদ্র S থাকে যাহাকে ছোট-বড় করা যায়। এই N নলটিকে ইচ্ছামত Collimator নলের ভিতরে ঢুকান যায় বা বাহিরে আনা যায়।

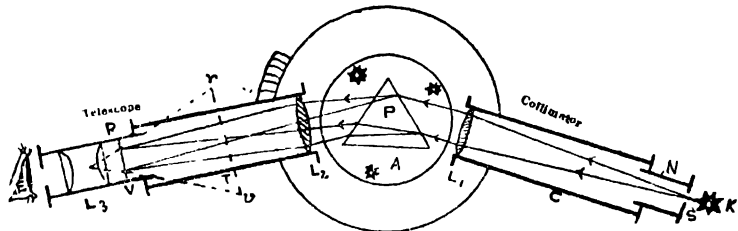
ছিদ্রটিকে লেন্সের প্রধান ফোকসে আনা হয় যাহাতে রশ্মিগুলি লেন্সের মধ্য দিয়া গিয়া সমান্তরাল হইয়া প্রিজমে পড়ে। Collimator নলটি E′ দণ্ডের উপর বসান থাকে।

(খ) **প্রিজম টেবিল** (Prism Table): ইহা একটি ছোট বৃত্তাকার টেবিল A লম্ব দণ্ড Bর উপর স্থাপিত। ইহার নীচে তিনটি স্ক্রু X Y Z আছে। স্ক্রুর দ্বারা টেবিলকে অনুভূমিক করা যায় বা উপরে উঠান যায় বা নীচে নামান যায় বা যে কোন অবস্থানে রাখা যায় বা অক্ষের যে কোন দিকে ঘোরান যায়। প্রিজম Pকে D বন্ধনী দিয়া টেবিলের উপর ঠিক অবস্থানে রাখা হয়।

(গ) **দূরবীক্ষণ**ঃ T দূরবীণ E ঘূর্ণায়মান দণ্ডের (rotating piece) উপর অনুভূমিক ভাবে রাখা থাকে। এই ব্যবস্থায় ইহাকে A টেবিলের চারিধারে ঘোরান যায়। ধারকাটা চাকা ও দন্ত ব্যবস্থা F (rack and pinion) দ্বারা দূরবীণকে fouss করা যায়। কতকগুলি স্ক্রুর দ্বারা দূরবীণের তল (level) পরিবর্তন করা যায় এবং ঘূর্ণায়মান দণ্ড Eকে যে কোন অবস্থানে রাখা যায়। এই ঘূর্ণায়মান দণ্ডের সহিত দুইটি বিপরীত Vernier যুক্ত থাকে। প্রিজমের টেবিলের অক্ষের সঙ্গে যুক্ত (coaxial) অপর একটি অংশাঙ্কিত বৃত্তাকার টেবিলের (H) চারিপাশে Vernier ঘুরিতে পারে। ইহাতে দূরবীণের অবস্থান সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায়। দূরবীণে একটি আড়াআড়ি তার (cross wire) থাকে। সমস্ত যন্ত্রটা একটি দণ্ড Nএর উপর স্থাপিত থাকে। N দণ্ডের নীচে তিনটি স্ক্রু J, K, I থাকে।

কার্য পদ্ধতি (Adjustment) (১৪১নং চিত্র): (ক) **দূরবীণ**—দূরবীণকে ঘুরাইয়া কোন সাদা বস্তুর (যেমন সাদা দেওয়াল) দিকে লক্ষ্য কর এবং দূরবীণের অভিনেত্র লেন্স L_3 কে অগ্র-পশ্চাৎ সরাইয়া এমন জায়গায় আন যাহাতে আড়াআড়ি তারকে স্পষ্ট দেখা যায়। দূরবীণ দিয়া কোন দূরবর্তি বস্তুকে focuss কর। ইহা এখন সমান্তরাল রশ্মির জন্য focussed হইল।

(খ) Collimator: কলিমিটার নলকে স্পিরিট লেভেলের সাহায্যে অনুভূমিক কর। দূরবীণকে Collimatorএর দিকে ঘুরাও এবং উহার সহিত

সমাক্ষ (coaxial) কর। Collimator এর ছিদ্রকে আবর্ণ(monochromatic) আলো K (যেমন Sodium শিখা) দ্বারা খুব উজ্জ্বলভাবে আলোকিত কর। (ছিদ্রের সামনে লবণ-জল সিক্ত এ্যাস্‌বেসটস্‌ বুন্‌সেন শিখায় জ্বালাইলে এইরূপ আলো পাওয়া যায়)। দূরবীণের L_3 অভিনেত্রে চোখ রাখিয়া ছিদ্রের প্রতিবিম্ব আড়াআড়ি তাবের উপর দেখা যায়। আমরা পূর্বেই দূরবীণের তারকে সমান্তরাল

১৪১নং চিত্র

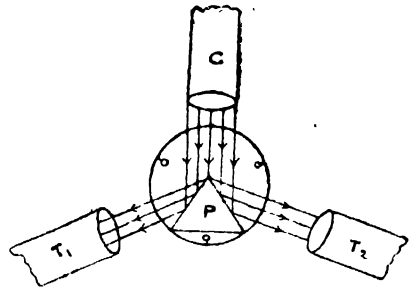
রশ্মির জন্য focussed করিয়া রাখিয়াছি। অতএব Collimator লেন্স হইতে নির্গত রশ্মিও সমান্তরাল হইবে। অর্থাৎ এই অবস্থায় দূরবীণ ও Collimator দুইই সমান্তরাল রশ্মির জন্য focussed হইবে।

(গ) **প্রিজম:** এইবাব প্রিজমকে A টেবিলের উপর ন্যূনতম চ্যুতির অবস্থানে রাখ এবং টেবিলকে অনুভূমিক কর। উপযুক্ত উচ্চতায় টেবিলকে তোল যাহাতে টেবিলের। দূরবীণের ও Collimator এর অক্ষ একই হয়। এখন দূরবীণের অভিনেত্র L_3এর পশ্চাতে চক্ষু রাখিলে একটি **শুদ্ধ, বর্ধিত বর্ণালি** R′ V′ দেখা যাইবে। (১৪১নং চিত্রের মত)

ব্যবহার: এই যন্ত্র দিয়া (ক) প্রিজমের আকারের কোন দ্রব্যের μ বাহির করা যায়, (খ) বিভিন্ন দীপকের বর্ণালি পরীক্ষা করা যায়।

১৪২। বর্ণালি-বীক্ষণ দ্বারা পরীক্ষা (Experiments): (ক) **প্রিজমের কোণ** (Angle of the prism) **নির্ণয়:** সোডিয়াম আলো দিয়া ছিদ্রকে আলোকিত কর। P প্রিজমকে টেবিলের উপর এমনভাবে রাখ যে Collimator হইতে সমান্তরাল রশ্মি প্রিজমের কোণের (যে কোণ মাপা হইবে) দুইধারে পড়িয়া ডানদিকে ও বামদিকে আংশিক প্রতিফলিত হয়। প্রিজম

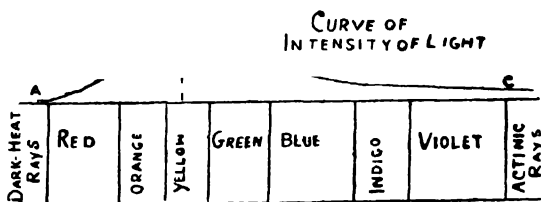
টেবিলকে এই অবস্থায় স্থির রাখ। এখন দূরবীণ ডাইনে ও বামে ঘুরাইয়া ছিদ্রের প্রতিবিম্ব নির্ণয় কর। বৃত্তাকার স্কেল ও Vernier পড়িয়া দূরবীণের এই দুই T_1 ও T_2 অবস্থানের পাঠ (reading) সঠিকভাবে লও। দুই অবস্থানের মধ্যবর্তি কোণ = ২ × প্রিজমের কোণ। (১৪২নং চিত্র)

(খ) **ন্যূনতম চ্যুতি কোণ নির্ণয় :** Collimator হইতে Sodium আলোর রশ্মিকে প্রিজমে পড়িতে দাও এবং দূরবীণ দিয়া ছিদ্রের প্রতিসৃত প্রতিবিম্ব দেখ। প্রিজম টেবিলকে যে কোন দিকে ক্রমাগত আস্তে আস্তে ঘুরাইতে থাকিলে দেখিবে প্রতিসৃত প্রতিবিম্ব নির্দিষ্ট দিকে ঘুরিতে থাকে যতক্ষণ না Collimator হইতে আগত রশ্মির একটি নিদিষ্ট আবর্তন কোণের জন্য প্রতিবিম্ব একটু থামিয়া পরমুহূর্তে বিপরীত দিকে ঘুরিতে থাকে। যে অবস্থানে প্রতিবিম্ব দিক পরিবর্তন করে তাহাকে প্রিজমের ন্যূনতম চ্যুতির কোণ বলে। প্রিজমকে এই অবস্থানে স্থির রাখিয়া দূরবীণ ঘুরাইয়া ছিদ্রের প্রতিসৃত প্রতিবিম্বকে স্পষ্টভাবে দেখ। দূরবীণের এই অবস্থান স্কেল ও Vernier হইতে পড়। প্রিজম তুলিয়া লও। এখন দূরবীণকে ঘুরাইয়া Collimator এর সামনা-সামনি আনিয়া ছিদ্রের প্রতিবিম্ব দেখ। দূরবীণের অবস্থানের পাঠ লও। দূরবীণের দুই অবস্থানের মধ্যবর্তি কোণ = ন্যূনতম চ্যুতির কোণ।

১৪২নং চিত্র

(গ) μ **নির্ণয় :** আমরা জানি $\mu = \dfrac{\sin \frac{A+\delta}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$ । A = প্রিজমের কোণ, δ = ন্যূনতম চ্যুতির কোণ। (ক) ও (খ) পরীক্ষা দ্বারা A ও δ নির্ণয় করিলে যে কোন বর্ণের আলোর জন্য প্রিজমের দ্রব্যের μ বাহির করা যায়।

১৪৩। **বর্ণালির দুইটি অংশ**—সৌর বর্ণালির দুইটি অংশ থাকে—একটি **দৃশ্য** (visible) অংশ। ইহা সমস্ত বর্ণালির ক্ষুদ্র অংশ। Vibgyor বর্ণগুলির আলোক তরঙ্গই আমরা দেখিতে পাই। বর্ণালির অবলোহিত (Infra-red ও অতিবেগুনি (ultraviolet) অংশের তরঙ্গ আমরা দেখিতে পাই না। ইহাকে বর্ণালির **অদৃশ্য** (Invisible) অংশ বলে। X– রশ্মি; Gamma রশ্মি, বেতার রশ্মি ইহাদের অন্তর্গত।

১৪৪। **দৃশ্য বর্ণালির ফল** (Effects of Spectrum) : বর্ণালির বিভিন্ন অংশের অর্থাৎ বিভিন্ন বর্ণের আলোর বিভিন্ন ফল দেখা যায়:—

(ক) **উজ্জ্বলতার** ফল (Luminous Effect) : বর্ণালির হল্‌দে আলো বেশী উজ্জ্বল, লোহিত বা বেগুনীর দিকে আলোর উজ্জ্বলতা ক্রমশঃ কমিয়া যায়।

১৪৩নং চিত্র

বর্ণালি দেখিলেই ইহা সহজেই বোঝা যায়। উজ্জ্বলতা ছক (intensity curve) A B C দিয়া ইহা দেখান হইয়াছে। এই কারণে আমরা লাল বা বেগুনী আলো অপেক্ষা হল্‌দে আলোতে অক্ষর ভাল দেখিতে পাই।

(খ) **তাপ** (Heating) **ফল** : একটি রৈখিক (linear) থার্মপাইল কিংবা কাল রংডে রঞ্জিত বাল্‌বযুক্ত সুবেদী (sensitive) থার্মমিটার বর্ণালির বিভিন্ন অংশে রাখিলে দেখা যাইবে তাপ-ফল লাল হইতে বেগুনির দিকে কমিয়া যায়। লালের সামান্য বাহিরে থার্মমিটারে সর্বাপেক্ষা বেশী উষ্ণতা দেখা যায়।

(গ) **রাসায়নিক** (Chemical) **ফল** : আলো অনেক ক্ষেত্রে রাসায়নিক প্রক্রিয়া উৎপন্ন করে যেমন আলো ফটো প্লেটে রূপার লবণ (silver salt) বিশ্লিষ্ট

করে। একটি সুবেদী ফটো প্লেট বর্ণালির বিভিন্ন অংশে রাখিলে দেখা যায় লাল আলোর রাসায়নিক ফল খুবই কম এবং এই ফল ক্রমশঃ বেগুনীর দিকে বাড়িতে থাকে। বেগুনীর সামান্য বাহিরে সর্বোচ্চ রাসায়নিক ফল দেখা যায়।

১৪৫। **অদৃশ্য বর্ণালির ফলঃ অবলোহিত অংশঃ**—এই অংশ ১৮০০ খৃষ্টাব্দে Hershell আবিষ্কার করেন। অবলোহিত অংশের তাপ ফল খুব বেশী। বর্ণালির দৃশ্য লোহিত অংশের একটু বাহিরে সর্বাপেক্ষা বেশী তাপ ফল দেখা যায়। কাচ তাপ রশ্মি শোষণ করে বলিয়া Rock salt কিংবা Fluor-spar দ্বারা নির্মিত প্রিজম বা লেন্স দিয়া অবলোহিত বর্ণালির তাপ ভাল দেখা হয়। দৃশ্য বর্ণালির সাতগুণ দৈর্ঘ্য পর্যন্ত অদৃশ্য বর্ণালির অবলোহিত অংশের তাপ ফল এই উপায়ে দেখা যায়। বর্ণালির এই অংশের নাম Infra-red বর্ণালি। এই অংশের বিকীরত রশ্মি দ্বারা উদ্ভূত উষ্ণতা মাপ করিবার নানাবিধ সুবেদী যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। Bolometer নামক সূক্ষ্ম যন্ত্র দিয়া Langley অবলোহিত অংশের গুণাবলী পরীক্ষা করেন। অবলোহিত অংশের তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ৭৮০০ A. U. হইতে প্রায় ·08 সেঃ মিঃ হয়। দৃশ্য অংশের তরঙ্গের চেয়ে এই অংশের তরঙ্গের দৈর্ঘ্য বেশী হওয়ায় ইহারা বায়ুমণ্ডল কর্তৃক কম শোষিত হয় এবং মেঘ বা কুয়াসা ভেদ করিয়া যায় সেইজন্য দৃশ্য অংশের কাছাকাছি অবলোহিত রশ্মির দ্বারা বহু দূরের কোন বস্তুর (বিশেষতঃ মেঘলা দিনে) ফটো লওয়া হয়। এই উদ্দেশ্যে বিশেষভাবে প্রস্তুত লেন্স ও প্লেট ব্যবহৃত হয়।

(খ) **অতিবেগুনি অংশঃ** এই অংশ ১৮০১ খৃষ্টাব্দে Ritter আবিষ্কার করেন। সূর্যালোকের অতিবেগুনি অংশ অনেক রোগ নিরাময়ে ব্যবহৃত হয়। উদ্ভিদ জগতে এই অংশ অনেক রাসায়নিক প্রক্রিয়া ত্বরান্বিত করে যেমন খাদ্যপ্রাণ (vitamins) প্রস্তুত। এই অংশের বিকীরণ (radiation) কতকগুলি দ্রব্যে প্রতিপ্রভা (fluorescence) উৎপন্ন করে। এই সকল দ্রব্য দিয়া আসল ও নকল হীরক চেনা যায়। এই সকল বিকীরণ ozone, মেঘ ও ধোঁয়া দ্বারা শোষিত হয়। এই সকল বিকীরণ রাসায়নিক প্রক্রিয়াকে বেশী পরিমাণে প্রভাবান্বিত করে। ইহা কাচ দ্বারা শোষিত হয় বলিয়া এই অংশের পরীক্ষায় quartz দ্বারা

গঠিত প্রিজম ও লেন্স ব্যবহার করা হয়। এই বিকীরণগুলি ফটো প্লেটের পক্ষে খুব কার্যকরী হয়। এই বিকীরণের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ৩৯০০ A. U. হইতে ২০০ A. U. পর্যন্ত হয়।

১৪৬। **বিভিন্ন প্রকারের (types) বর্ণালি :** বর্ণালিকে প্রধানতঃ দুই শ্রেণীতে বিভক্ত করা যায় যথা : (ক) **নিঃসরণ** (Emission) **বর্ণালি**, (খ) **শোষণ** (Absorption) **বর্ণালি :**

(ক) **নিঃসরণ বর্ণালি :** যখন কোন বস্তুকে এমনভাবে উত্তপ্ত করা যায় যে তাহা আলো প্রদান করে তখন সেই বস্তুকে **ভাস্বর** (incandescent) বলে। ভাস্বর বস্তুর আলোকোদ্ভূত বর্ণালিকে নিঃসরণ বর্ণালি বলে।

নিঃসরণ বর্ণালি তিন প্রকার, যথা :

(১) **নিরবচ্ছিন্ন** (Continuous) **বর্ণালি :** এই বর্ণালিতে দীপকের উষ্ণতা অনুসারে লোহিত হইতে বেগুণী পর্য্যন্ত সকল বর্ণের আলোর **নিরবচ্ছিন্ন উজ্জ্বল পটি** থাকে। এই প্রকার বর্ণালিতে কোন আলোর ফাঁক থাকে না। ভাস্বর কঠিনের এবং উচ্চ চাপের তরল বা গ্যাসের আলো এই প্রকার বর্ণালি উৎপন্ন করে। যথা বৈদ্যুতিক বাতি, কয়লা-গ্যাস, চুণের আলো। আরক্ত-তপ্ত (red hot) কোন কঠিনের বর্ণালিতে লোহিত পটিই বেশী থাকে। যত উষ্ণতা বাড়ে তত বেগুণীর দিকে পটি বিস্তৃত হয়। শুভ্র-তপ্ত (white hot) হইলে কঠিনের বর্ণালিতে সাত বর্ণের পটি দেখা যায়।

(২) **রেখা** (Line) **বর্ণালি :** এই বর্ণালিতে এক বা ততোধিক **উজ্জ্বল রেখা** (bright lines) এবং দুই রেখার মাঝে **অন্ধকার স্থান** (dark space) থাকে। মৌলিক দ্রব্যের (elements) ভাস্বর গ্যাস বা বাষ্প এইরূপ বর্ণালি দেয়। এইরূপ প্রত্যেক দ্রব্যের বর্ণালিতে বিশেষ বিশেষ রেখা দেখা যায়। বর্ণহীন বুনসেন শিখায় সাধারণ লবণ (common salt) ধরিলে ভাস্বর Sodium বাষ্প পাওয়া যায় এবং শিখা তখন হলদে বর্ণ ধারণ করে। এই শিখার বর্ণালিতে হলদে পটির স্থানে **দুইটি** খুব উজ্জ্বল **হলদে** রেখা দেখা যায়। এই রেখা দুইটিকে D রেখা বলে। এই দুই আলোক রেখার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের

পার্থক্য খুব কম সেইজন্য Sodium বাষ্পের হলুদে আলোককে আবর্ণ ধরা হয়। হাইড্রোজেন গ্যাসের বর্ণালিতে লোহিত, সবুজ ও বেগুণী অংশে তিনটি উজ্জ্বল রেখা থাকে। Potassiumএর বর্ণালিতে লোহিত অংশে দুইটি এবং বেগুণীতে একটি রেখা থাকে। লোহার বাষ্পের বর্ণালিতে বিভিন্ন অংশে কয়েক হাজার উজ্জ্বল রেখা দেখা যায়।

(৩) **পটি** (Band): এই বর্ণালিতে কয়েকটি চওড়া **উজ্জ্বল পটি** (bands) থাকে। এই সকল পটির এক ধার খুব উজ্জ্বল (sharply defined) দেখা যায়, অপর ধারে বর্ণ ক্রমশঃ অস্পষ্ট হয় (shading off). সূক্ষ্মভাবে পরীক্ষা করিলে বেশী উজ্জ্বল অংশে অনেকগুলি উজ্জ্বল রেখাকে গায়ে গায়ে লাগিয়া থাকিতে দেখা যায়। অনুজ্জ্বল অংশে এই রেখাগুলি খুব ফাঁক ফাঁক থাকে। সাধারণতঃ ভাস্বর যৌগিক পদার্থ (compound) এই বর্ণালি দেয় যেমন Cyanogen। অনেক সময় মৌলিক পদার্থ যথা নাইট্রোজেন, পারদ বাষ্প এইরূপ বর্ণালি দেয়।

(খ) শোষণ বর্ণালি ঃ যদি সাদা আলোর পথে কোন স্বচ্ছ রঙিন দ্রব্য রাখা যায় তবে সাদা আলোর কতকগুলি রশ্মি (রঙিন দ্রব্য যে বর্ণের সেই বর্ণের রশ্মি) সেই দ্রব্য কর্তৃক শোষিত হয়। রঙিন রশ্মির বর্ণালিতে শোষিত রশ্মির বর্ণ দেখা যায় না। এইরূপ বর্ণালিকে **শোষণ বর্ণালি** বলে।

শোষণ বর্ণালি দুই প্রকারের হয়ঃ

(১) **কালো রেখা** (Dark line) **বর্ণালি ঃ** কোন ভাস্বর কঠিন হইতে নির্গত সাদা আলো কঠিনের চেয়ে কোন শীতলতর বাষ্পের মধ্য দিয়া অতিক্রম করিলে বাষ্পের নিজস্ব বর্ণালির বর্ণগুলি সাদা আলোর রশ্মি হইতে শোষিত হইবে। সুতরাং উপরোক্ত অতিক্রান্ত (transmitted) সাদা আলোর বর্ণালি নিরবচ্ছিন্ন হইলেও তাহার শোষিত রশ্মির জন্য তাহাতে মাঝে মাঝে কালো রেখা দেখা যাইবে। সৌর বর্ণালিতে এইরূপ বহু কালো রেখা দেখা যায়। বিজলি বাতির সাদা আলোর বর্ণালি নিরবচ্ছিন্ন কিন্তু আলোর পথে যদি Potassium permanganate দ্রবণ রাখা যায় তবে অতিক্রান্ত আলোর বর্ণালিতে সবুজ অংশে পাঁচটি কালো রেখা দেখা যাইবে।

ইহা হইতে বোঝা যায় যে ভাস্বর গ্যাস বা বাষ্পের নিজস্ব আলোর বর্ণালিতে উজ্জ্বল (bright) রেখা দেখা যায় কিন্তু যখন ঐ গ্যাস ও বাষ্প সাদা আলোর পথে দাঁড়ায় তখন সাদা আলোর বর্ণালিতে উজ্জ্বল রেখার স্থানে কালো রেখা দেখা যায়।

(২) **কালো পটি** (Dark band) **বর্ণালি:** যদি সাদা আলোর পথে লাল কাচ রাখা যায় তবে অতিক্রান্ত আলোর বর্ণালিতে লাল অংশ দেখা যাইবে বাকী অংশে কালো পটি দেখা যাইবে। কারণ লাল কাচ সাদা আলোর লাল বর্ণের রশ্মি ব্যতীত অন্য সমস্ত বর্ণের রশ্মিই শোষণ করিয়া লইবে। অন্যান্য বর্ণের কাচ রাখিলে বর্ণালিতে সেই বর্ণ ব্যতীত অন্য বর্ণের জায়গায় কাল পটি দেখা যাইবে। এই কাল পটিকে **শোষণ পটি** (Absorption band) বলে। এইরূপ কোন নির্দিষ্ট বর্ণের দ্রব্য দ্বারা সাদা আলোর শোষণকে **বৃত শোষণ** (Selective Absorption) বলে।

১৪৭। **বিভিন্ন আলোক উৎসর বর্ণালি** (Spectra of different Sources):

(১) **সূর্যের ও নক্ষত্রের বর্ণালি:** (ক) **কালরেখা** (Dark line): মোটামুটি দেখিলে সূর্য বর্ণালিকে সাত বর্ণের (vibgyor) নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালি মনে হইবে। কিন্তু সূক্ষ্মভাবে দেখিলে বর্ণালির বিভিন্ন অংশে বহু কালো রেখা দেখা যাইবে। Fraunhofer এই রেখাগুলি আবিষ্কার ও পরীক্ষা করেন বলিয়া রেখাগুলিকে Fraunhofer রেখা (line) বলে। রেখাগুলির মধ্যে কতকগুলি স্পষ্ট, কতকগুলি অস্পষ্ট। কিন্তু প্রত্যেক রেখাকে বর্ণালিতে একটি নির্দিষ্ট স্থানে দেখা যায়। Fraunhofer স্পষ্ট রেখাগুলির ABCDEFGHK প্রভৃতি অক্ষর দিয়া নামকরণ করেন। ABC লাল অংশে, D হলুদে অংশে, E সবুজ অংশে ইত্যাদি দেখা যায়। তিনি প্রায় ৭০০ রেখা আবিষ্কার করেন।

Kirchhoffএর নিয়ম: উপরোক্ত রেখাগুলি ১৮০২ খৃষ্টাব্দে আবিষ্কৃত হইলেও ১৮৬১ খৃষ্টাব্দে Kirchhoff প্রথম রেখাগুলির অস্তিত্বের কারণ নির্ণয় করেন। তিনি শোষণ বর্ণালি সম্বন্ধে নানারূপ পরীক্ষা করিয়া নিম্নলিখিত নিয়ম আবিষ্কার করেন:

কোন মৌলিক পদার্থের বাষ্প উচ্চ উষ্ণতায় যে বর্ণের আলো প্রদান করে সেই বাষ্প নিম্ন উষ্ণতায় সেই বর্ণের আলোই শোষণ করে।" ইহাকে Kirchhoff নিয়ম বলে।

পরীক্ষাঃ অনুজ্জ্বল (non-luminous) বুনসেন শিখায় সাধারণ লবণ ধর। ইহা Sodium Chloride। সোডিয়ামএর জন্য শিখা গাঢ় হল্‌দে বর্ণ ধারণ করে। বর্ণালি-বীক্ষণ যন্ত্রে Sodiumএর বর্ণালিতে একটি উজ্জ্বল হলদে রেখা দেখিবে। বুনসেন শিখাকে ঠিক এইভাবে রাখিয়া তাহার পশ্চাতে উচ্চ উষ্ণতার কোন সাদা আলো (যেমন চূণের আলো (lime-light), বিজলি আর্ক দীপ) রাখ যাহাতে সাদা আলো হলদে শিখার মধ্য দিয়া যায়। এখন বর্ণালি সকল বর্ণ বিশিষ্ট নিরবচ্ছিন্ন হইবে কেবল উপরোক্ত ঠিক উজ্জ্বল হলদে রেখার জায়গায় একটি কালো রেখা দেখিবে। কেন? সাদা আলোর উৎস আর্ক দীপ উচ্চ উষ্ণতায় আছে। সোডিয়াম আলোর উৎস (বুনসেন দীপ) কম উষ্ণতায় আছে। সোড়িয়াম আলোর নিজস্ব বর্ণ হইল হল্‌দে। কাজেই সোডিয়াম আলো সাদা আলোর হলদে বর্ণের আলো শোষণ করে। সুতরাং বর্ণালিতে হল্‌দে রেখার জায়গায় কালো রেখা দেখা যায়।

উপরোক্ত পরীক্ষায় সিদ্ধান্ত দ্বারা Fraunhofer রেখার কারণ নির্ণয় করা যায়। সূর্যের কেন্দ্রে শুভ্র-তপ্ত (white hot) কঠিন বা তরল পদার্থ আছে। ইহার উষ্ণতা খুব বেশী, কয়েক লক্ষ সেন্টিগ্রেড ডিগ্রী। সূর্য্যের কেন্দ্রস্থলকে **আলোক মণ্ডল** (Photosphere) বলে। কেন্দ্রস্থলের চারিদিকে গ্যাসের আবরণ থাকে। ইহার উষ্ণতা কম, প্রায় ৬০০০°C ইহাকে **বর্ণ মণ্ডল** (Chromosphere) বলে। খুব উত্তপ্ত আলোকমণ্ডলের সাদা আলো অপেক্ষাকৃত কম উষ্ণ বর্ণমণ্ডলের ও পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়া আসিবার সময় বর্ণমণ্ডলের ও বায়ুমণ্ডলের শীতল গ্যাসগুলি স্ব স্ব বৈশিষ্ট্য অনুযায়ী সূর্যের সাদা আলোর রশ্মি শোষণ করে সুতরাং সৌর বর্ণালিতে শোষিত রশ্মির আংশিক অভাবে সেই সেই জায়গায় কালো রেখা রূপে দেখা যায়। এই রেখাগুলি সত্যই কালো বর্ণের নহে। পার্শ্বের উজ্জ্বল অংশের তুলনায় এই অংশগুলি কম উজ্জ্বল বলিয়া

ঐরূপ দেখায়। পূর্ণ সূর্যগ্রহণের সময় যখন সূর্যের উজ্জ্বলতম রশ্মিগুলি চন্দ্র দ্বারা বিচ্ছিন্ন হয় তখন কালোরেখা গুলিকে উজ্জ্বল (bright) দেখায়।

সৌর বর্ণালির কয়েকটি কালো রেখার অবস্থানের সঙ্গে পৃথিবীর কতকগুলি মৌলিক পদার্থের বর্ণালির উজ্জ্বল রেখার অবস্থানের সঙ্গে মিল দেখা যায়। যথা সৌর বর্ণালির A B. রেখা অক্সিজেনের নিজস্ব উজ্জ্বল রেখার সঙ্গে এবং C F রেখা হাইড্রোজেনের নিজস্ব উজ্জ্বল রেখাব সঙ্গে মিলিয়া যায়। ইহাতে মনে হয় সৌরমণ্ডলে পৃথিবীর অনেক মৌলিক পদার্থই বর্তমান।

নক্ষত্রের বর্ণালি সৌর বর্ণালিরই মত। ইহাতেও সাত বর্ণ ও কালো রেখা থাকে। এই কারণে মনে হয় নক্ষত্ররা একটি একটি সূর্য। নীহারিকার (nebulae) বর্ণালিতে কেবল উজ্জ্বল বেখা দেখা যায়। ইহার অর্থ যে নীহারিকায় কেবল ভাস্বর গ্যাস বা বাষ্প আছে। ইহারা এখনও শীতল হইয়া কঠিন বা তরল হয় নাই।

বর্ণালির প্রকৃতি দেখিয়া নক্ষত্রাদি জ্যোতিষ্কের বহির্ভাগের উষ্ণতা মোটামুটি বাহির করা যায়। এই সম্বন্ধে ডাঃ মেঘনাথ সাহা একটি পদ্ধতি আবিষ্কার করিয়াছেন।

(২) **ভাস্বর কঠিন বা তরল:** ইহাদের বর্ণালি নিরবচ্ছিন্ন সাতবর্ণ বিশিষ্ট (যথা বিদ্যুৎ বাতি, উত্তপ্ত প্লাটিনাম তার)

(৩) **ভাস্বর গ্যাস বা বাষ্প:** ইহাদের বর্ণালি উজ্জ্বল রেখা বিশিষ্ট হয় যথা; রেখা বর্ণালি বা পটি বর্ণালি।

১৪৮। **বর্ণালি দ্বারা পদার্থ নির্ণয়** (Spectrum Analysis): প্রত্যেক মৌলিক পদার্থ ভাস্বর অবস্থায় কতকগুলি রেখা বিশিষ্ট একটি স্বতন্ত্র বর্ণালি উৎপন্ন করে যাহা অন্য কোন পদার্থ দেয় না। এই রেখাগুলির সংখ্যা ও অবস্থান বিভিন্ন পদার্থের বর্ণালিতে বিভিন্ন রকম হয়। যেমন সোডিয়ামের বর্ণালিতে দুইটি হলুদে রেখা, লিথিয়ামের বর্ণালিতে একটি লাল রেখা, হাইড্রোজেনের তিনটি লাল, একটি সবুজ, একটি বেগুণী রেখা থাকে। সমস্ত জ্ঞাত মৌলিক পদার্থের বর্ণালি পরীক্ষা করা ও বর্ণালির চিত্র লওয়া হইয়াছে। সুতরাং অজ্ঞাত কোন পদার্থের বর্ণালির সঙ্গে এই চিত্রের তুলনা করিলে পদার্থের স্বরূপ

ধরা পড়ে। এইরূপে কোন বস্তুর বর্ণালির প্রকৃতির দ্বারা বস্তুর উপাদান নির্ণয়কে **বর্ণালি বিশ্লেষণ** (Spectrum Analysis) বলে। এই উপায়ে নক্ষত্রের ও নীহারিকার উপাদানের বিষয় অনেক জানা গিয়াছে। রাসায়নিক গবেষণায় বর্ণালির জ্ঞান অনেক সাহায্য করে।

১৪৯। **বিচ্ছুরক ক্ষমতা** (Dispersive Power) : পূর্বে বলা হইয়াছে যৌগিক সাদা আলো প্রিজমের মধ্য দিয়া যাইলে বিশ্লিষ্ট রশ্মিগুলি বিভিন্ন পরিমাণে বাঁকিয়া যায় সুতরাং রশ্মিগুলির মধ্যে কৌণিক পার্থক্য (angular separation) দেখা যায়। এই পার্থক্য প্রিজমের প্রতিসরাঙ্কের সহিত বাড়িয়া যায়। দুই বর্ণের রশ্মির মধ্যে কৌণিক পার্থক্যকে রশ্মিদ্বয়ের বিচ্ছুরণ (dispersion) বলে। বিভিন্ন স্বচ্ছ পদার্থের বিভিন্ন রশ্মিকে পৃথকী-করণের ক্ষমতাকে **বিচ্ছুরক ক্ষমতা** বলে।

মনে কর A — প্রিজমের কোণ, δr, δv, δ — যথাক্রমে লাল, বেগুনী ও উহাদের মধ্যক রশ্মির চ্যুতি, μ_r, μ_v, μ — যথাক্রমে উপরোক্ত রশ্মির জন্য প্রিজমের পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক। মনে কর প্রিজম খুব পাতলা। এখন আমরা পাইতেছি—

$$\delta r = (\mu_r - 1)A,\ \delta v = (\mu_v - 1)A,\ \delta = (\mu - 1)A$$

$$\therefore\ \frac{\delta v - \delta r}{\delta} = \frac{\mu_v - \mu_r}{\mu - 1}$$ । এই অনুপাতকে বিচ্ছুরক ক্ষমতা বলে।

একই প্রিজমের মধ্য দিয়া দুই বর্ণের বিচ্ছুরণের বিয়োগফল ও মধ্যক রশ্মির বিচ্ছুরণের অনুপাতকে **বিচ্ছুরক ক্ষমতা** বলে।

১৫০। **প্রিজমের সংযোগ** (Combination of Prisms) : বিভিন্ন পদার্থের বিচ্ছুরক ক্ষমতা বিভিন্ন হয় সুতরাং বিভিন্ন পদার্থ দ্বারা প্রস্তুত দুই বা ততোধিক প্রিজম বিভিন্ন রশ্মিগুলিকে বিভিন্ন মাত্রায় ছড়াইয়া দেয়। Flint কাচের বিচ্ছুরক ক্ষমতা crown কাচের বিচ্ছুরক ক্ষমতার চেয়ে বেশী। Carbon disulphide প্রিজমের বিচ্ছুরক ক্ষমতা খুব বেশী। দীর্ঘ বর্ণালি প্রস্তুত করিতে Carbon disulphide প্রিজম ব্যবহার করা হয়। মনে রাখিবে বিচ্ছুরণ ও বিসরণ প্রিজমের কোণের ও প্রতিসরণ কোণের (refracting

angle) উপর নির্ভর করে। বিভিন্ন পদার্থের বিচ্ছুরক ক্ষমতা বিভিন্ন বলিয়া দুইটি উপযুক্ত বিভিন্ন পদার্থের বিভিন্ন প্রতিসরণ কোণযুক্ত প্রিজমকে একসঙ্গে এমনভাবে যুক্ত করা যায় যে যুক্ত প্রিজমের মধ্য দিয়া সাদা আলো অতিক্রম করিলে দুইটি ফল পাওয়া যায় যথা: (ক) বিসরণহীন বিচ্ছুরণ (Dispersion without deviation), (খ) বিচ্ছুরণহীন বিসরণ (Deviation without dispersion) :

১৫১। **বিসরণহীন বিচ্ছুরণ** :—দুই বিভিন্ন পদার্থের যথা Crown কাচ ও Flint কাচের দুইটি প্রিজম এমনভাবে নির্বাচন করা যায় যে প্রিজম হইতে নির্গত দুইটি রশ্মির (মনে কর লাল ও বেগুণী) মধ্যক রশ্মির বিসরণ দুই প্রিজমে এক হয়। ইহার সর্ত হইল এই যে $(\mu-1)A=(\mu'-1)A'$ এখানে μ ও μ' মধ্যক রশ্মির জন্য যথাক্রমে Crown ও Flint কাচের প্রতিসরাঙ্ক এবং A ও A' যথাক্রমে উহাদের প্রতিসরণ কোণ।

যদি এই দুই প্রিজমের প্রতিসরণ কোণদ্বয় পরস্পর বিপরীত দিকে রাখা যায় এবং যুক্ত প্রিজমের মধ্য দিয়া কোন সাদা আলো অতিক্রম করান যায় তবে

প্রথম প্রিজম দ্বারা উৎপন্ন বিচ্ছুরণ $=(\mu_v-\mu_r)A$

দ্বিতীয় ,, ,, ,, ,, $=(\mu'_v-\mu'_r)A'$

সুতরাং দুই বিচ্ছুরণের (কৌণিক পার্থক্যের) বিয়োগ ফল = যুক্ত প্রিজমের মোট বিচ্ছুরণ।

এই নীতি **সাক্ষাৎ-দৃষ্টি** বা **সমাক্ষ বর্ণালীবীক্ষণ** (Direct Vision Spectroscope) নির্মাণে অবলম্বন করা হয়।

১৫২। **বিচ্ছুরণহীন বিসরণ** : অনুরূপভাবে Crown কাচ ও Flint কাচের প্রিজমের প্রতিসরণ কোণ এমনভাবে নির্বাচন করা হয় যে দুই প্রিজমের প্রতিসরণ কোণদ্বয় বিপরীতমুখী রাখিয়া একত্রে যুক্ত করিলে নির্গত রশ্মিগুচ্ছের যে কোন দুইটি রশ্মির মধ্যে কোন কৌণিক পার্থক্য থাকিবে না অর্থাৎ রশ্মির কোন বিচ্ছুরণ হইবে না যদিও নির্গত সমস্ত রশ্মিগুচ্ছই আপতিত পথ হইতে সরিয়া যাইবে। এইরূপ প্রিজমের সংযোগকে আবর্ণ (achromatic) সংযোগ বলে। অর্থাৎ ইহাতে বর্ণ দেখা যাইবে না কারণ রশ্মির বিচ্ছুরণ হইবে না।

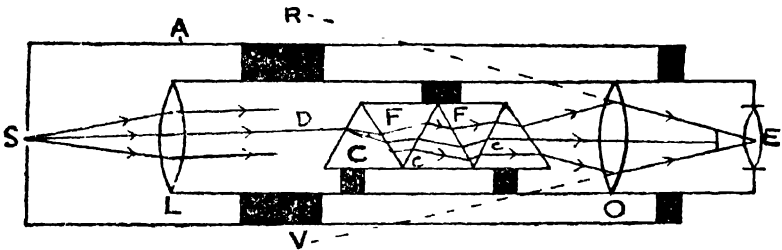
এখানে প্রত্যেক প্রিজম কর্তৃক উৎপন্ন যে কোন দুই রশ্মির মধ্যে বিচ্ছুরণ সমান। আবর্ণতার সর্ত হইল এই যে

$$\delta'v - \delta'r = \delta v - \delta r.$$

$$\therefore (\mu'v - \mu'r) A' = (\mu v - \mu r) A.$$

এখানে μr, μv, δr, δv, ও A যথাক্রমে Crown কাচ প্রিজমের লাল ও বেগুণী বর্ণের প্রতিসরাঙ্ক, বিসরণ ও প্রতিসরণ কোণ এবং $\mu' r$, $\mu' v$, $\delta' r$, $\delta' v$ ও A' যথাক্রমে Flint কাচ প্রিজমের উপরোক্ত রাশি প্রকাশ করে।

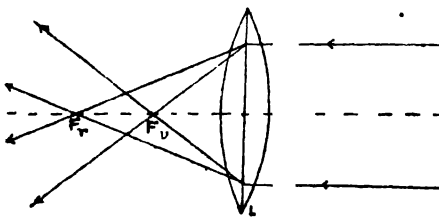
১৫৩। **সমাক্ষ বর্ণালি-বীক্ষণ:** বিসরণ হীন বিচ্ছুরণের নীতির উপর এই যন্ত্রের কার্য্যকারিতা নির্ভর করে। ইহার ভিতর দিয়া আপতিত রশ্মির দিকে সোজা তাকাইলেই বিশুদ্ধ বর্ণালি দেখা যায়। ইহা এত ক্ষুদ্র যে ইহাকে পকেটে লওয়া যায়। ইহা দ্বারা বর্ণালির সূক্ষ্ম পর্য্যাবেক্ষণ হয় না।

যন্ত্র: ইহার নিম্নলিখিত অংশ থাকে: (ক) **বহির্নল** (outer tube) A: ইহার একপ্রান্তে ছিদ্র S থাকে। ছিদ্র কমান বা বাড়ান যায়। (খ) **অন্তর্নল**

১৪৪নং চিত্র

(inner tube) B: ইহা A নলের ভিতরে সমাক্ষভাবে (co-axially) অবস্থিত থাকে এবং ইহাকে A নলে ঢোকান যায় বা বাহিরে আনা যায়। B নলের যে মুখ Sএর দিকে থাকে সেই মুখে একটি আবর্ণ উভোত্তল লেন্স L থাকে। B নলের মধ্যে তিনটি Crown কাচের (C) ও দুইটি Flint কাচের (F) যুক্ত প্রিজম থাকে। একটি Crown কাচের প্রিজমের পর Flint কাচের প্রিজম এইরূপ পর পর সাজান থাকে। উহাদের প্রতিসরণ প্রান্ত পরস্পর বিপরীত মুখী

হয়। B নলের অপর প্রান্তে একটি দূরবীক্ষণের অভিলক্ষ্য লেন্স O ও অভিনেত্র লেন্স E থাকে।

কার্যপদ্ধতি: S ছিদ্রকে সামঞ্জস্য (adjust) করিয়া এবং ছিদ্রকে প্রিজমের প্রতিসরণ তলের সমান্তরালে রাখিয়া দীপকের দিকে যন্ত্রকে ঘুরাও। অন্তর্নল Bকে ভিতর-বাহির করিয়া সামঞ্জস্য কর যাহাতে ছিদ্র S লেন্স Lএর প্রধান ফোকসে অবস্থিত হয়। L হইতে একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ বাহির হইয়া যুক্ত প্রিজমগুলির মধ্য দিয়া অতিক্রম করে। প্রিজম-গুলির প্রতিসরণ কোণ এমনভাবে নির্বাচিত করা হয় যে এক রকমের প্রিজম দ্বারা উৎপন্ন মধ্যক রশ্মির বিসরণ অপর জাতীয় প্রিজম দ্বারা উৎপন্ন বিসরণের সমান হয় সুতরাং মধ্যক রশ্মি অবিসৃত (undeviated) অবস্থায় চলিয়া যায়। কিন্তু Flint কাচ কর্তৃক উৎপন্ন বিচ্ছুরণ Crown কাচ কর্তৃক উৎপন্ন বিচ্ছুরণের সমান হয় না কারণ উহাদের বিচ্ছুরক ক্ষমতা বিভিন্ন। সুতরাং ইহাতে একটি বর্ণালি পাওয়া যায়। O লেন্স এই বর্ণালির একটি অসদ্ বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব RV উৎপন্ন করে। E অভিনেত্র সোজাসুজি এই প্রতিবিম্ব দেখিতে পায়। চিত্রে কেবল মধ্যক রশ্মি Dর বিশ্লিষ্ট রশ্মিগুলি দেখান হইয়াছে।

১৫৪। বর্ণীয় আপরণ (Chromatic Aberration): আমরা পূর্বে দেখিয়াছি উত্তল বা অবতল প্রত্যেক লেন্সকে কতকগুলি প্রিজমের সমষ্টি ধরা যাইতে পারে। সুতরাং লেন্সের মধ্য দিয়া যৌগিক আলো (যেমন সাদা আলো) অতিক্রম করিলে আলোক রশ্মির বিচ্ছুরণ হইবে অর্থাৎ সাদা আলো বিশ্লিষ্ট হইয়া বিভিন্ন পরিমাণে সরিয়া যাইবে (deviated)। সুতরাং যদি সাদা আলোর সমান্তরাল সূক্ষ্ম

১৪৫নং চিত্র

রশ্মিগুলি অক্ষের সহিত সমান্তরালে লেন্সে আপতিত হয় তবে বেগুণী রশ্মি সর্বাপেক্ষা বেশী প্রতিসরণীয় বলিয়া Fvতে কেন্দ্রীভূত হইবে এবং লাল রশ্মি

সর্বাপেক্ষা কম প্রতিসরণীয় বলিয়া Frতে কেন্দ্রীভূত হইবে এবং মধ্যবর্তি রশ্মিগুলি Fv ও Frর মধ্যে কেন্দ্রীভূত হইবে। সুতরাং সম্পূর্ণ প্রতিবিম্বকে অক্ষ বরাবর একটি রৈখিক বর্ণালিরূপে দেখা যাইবে। পর্দায় ফেলিলে সদ্ প্রতিবিম্বের চারি ধারে বর্ণালির বর্ণ দেখা যায়। একটিমাত্র লেন্স দ্বারা আলোকের বিচ্ছুরণকে লেন্সের **বর্ণীয় আপরণ** বলে। Crown ও Flint কাচের দুইটি প্রিজম দিয়া যেমন বিচ্ছুরণহীন বিসরণ উৎপন্ন করা যায় তেমন Crown কাচের উত্তল লেন্স এবং Flint কাচের (যাহার বিচ্ছুরক ক্ষমতা বেশী) কম ফোকস-দূরত্বের অবতল লেন্সের সঙ্গে যোগ করিলে যুক্ত-লেন্স আবর্ণ হয়।

১৫৫। **বর্ণতত্ত্ব** (Theory of Colors of Bodies): বিভিন্ন আলোকের উৎস কিংবা একই উৎস বিভিন্ন স্পন্দন-সংখ্যা (Frequency) বিশিষ্ট তরঙ্গ নির্গত করে। সেই সকল তরঙ্গ আমাদের অক্ষিপটে পড়িয়া বিভিন্ন বর্ণের অনুভূতি জাগায়। সাদা আলোর অনুভূতি সাত বর্ণের তরঙ্গের নির্দিষ্ট আনুপাতিক মিশ্রণের অনুভূতি। স্পন্দন-সংখ্যার বা তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের বিভিন্নতার জন্যই বিভিন্ন বর্ণের উৎপত্তি হয়।

নিউটন বিভিন্ন পরীক্ষার দ্বারা সিদ্ধান্ত করেন যে :—(ক) সাদা বস্তু ব্যতীত প্রত্যেক বস্তুই কমবেশী আলোক তরঙ্গ শোষণ করে। (খ) রংভিন স্বচ্ছ বা অস্বচ্ছ বস্তুর নিজস্ব কোন বর্ণ নাই। ইহাদের বর্ণ তিনটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে :—

(১) আপতিত রশ্মির প্রকৃতি অর্থাৎ আপতিত রশ্মির স্পন্দন-সংখ্যা। (২) আপতিত আলোর যে অংশ বস্তু দ্বারা শোষিত হয় বা বৃত শোষণ (selective absorption)। (৩) আপতিত আলোর অশোষিত (unabsorbed) অংশ দ্বারা চোখে জাগ্রত বর্ণানুভূতি। অশোষিত অংশের বর্ণই বস্তুর বর্ণ হয়।

আপতিত আলো (Incident light): সূর্য্যের আলো সাদা আলো কারণ সাদা আলোর সমস্ত বর্ণের উপাদান উপযুক্ত অনুপাতে ইহাতে বর্তমান থাকে কিন্তু তথাকথিত কৃত্রিম সাদা আলো প্রকৃত সাদা নহে। ইহাদের

মধ্যে সাদা আলোর সব উপাদানের অনুপাত ঠিক থাকে না। যেমন বিজলি আলোয় লাল ও নারাঙ্গের অংশ বেশী থাকে এবং নীল ও বেগুণীর অংশ কম থাকে। গ্যাসের আলোয় নীলের অংশ কম থাকে। বিজলি আলো প্রায় সূর্যের আলোর মত।

১৫৬। **অস্বচ্ছ পদার্থের বর্ণ**ঃ যখন কোন আলো কোন অস্বচ্ছ বস্তুর উপর পড়ে তখন ঐ বস্তুর নিজস্ব প্রকৃতি অনুযায়ী ঐ আপতিত আলোর কতকাংশ বস্তুর উপরের তল হইতেই প্রতিফলিত ও বিক্ষিপ্ত হইয়া আমাদের চোখে পড়ে এবং বাকী অংশ বস্তু দ্বারা শোষিত হয়। **প্রতিফলিত অংশের বর্ণই বস্তুর বর্ণ** বলিয়া প্রতীয়মান হয়। সূর্য্যালোকে একটি লাল ফুলকে লাল দেখায় কেন? কারণ ফুলটি নিজস্ব প্রকৃতির জন্য সূর্যের সাদা আলোর কেবলমাত্র লাল রশ্মি প্রতিফলিত করে,বাকী বর্ণের রশ্মি সব শোষণ করে। প্রতিফলিত লাল বর্ণের রশ্মির জন্য ফুলকে লাল দেখায়। যে বস্তু সাদা আলোর সব বর্ণের রশ্মিই শোষণ করে, কোন রশ্মিই প্রতিফলিত করে না সেই বস্তুকে **কাল** দেখায় সুতরাং কালবর্ণ কোন বিশেষ বর্ণ নহে। **সকল বর্ণের অভাবই হইল কাল বর্ণ**। যে বস্তু সাদা আলোর সকল বর্ণের রশ্মিই প্রতিফলিত করে, কোন রশ্মিই শোষণ করে না সেই বস্তুকে সাদা দেখায়। অতএব দেখা যায় অস্বচ্ছ বস্তুর বর্ণ আপতিত আলো ও প্রতিফলিত আলোর উপর নির্ভর করে। সাদা ফুলের উপর সাদা আলো পড়িলে ফুলকে সাদা দেখায়, লাল আলো পড়িলে লাল, সবুজ আলো পড়িলে সবুজ, নীল আলো পড়িলে নীল ইত্যাদি দেখায়। একটি সাদা ফুলকে বর্ণালির বিভিন্ন অংশের উপর দিয়া লইয়া যাইলে ফুলকে পর পর সাত বর্ণের দেখাইবে। আবার একটি লাল ফুলকে বর্ণালির লাল অংশে লইয়া যাইলে উজ্জ্বল লাল বর্ণের দেখাইবে কিন্তু অন্য অংশে লইয়া যাইলে ইহাকে কাল দেখাইবে। কারণ লাল ফুলটি কেবলমাত্র লালবর্ণ প্রতিফলিত করিতে পারে, অন্য বর্ণ শোষণ করে। আবার কোন বর্ণের প্রতিফলিত আলো সব সময়ে অমিশ্রিত থাকে না, পার্শ্ববর্তি বর্ণ ইহাতে একটু-আধটু মিশিয়া যায়। একটি সবুজ বর্ণের বস্তুর তল হইতে প্রতিফলিত সবুজ আলোর সহিত পার্শ্ববর্তি হল্‌দে ও নীল বর্ণের রশ্মি সামান্য মিশিয়া যায়। এই মিশ্রিত বর্ণের আলোর মাত্রা একই বর্ণের বস্তুর shadeএর

পার্থক্য নির্ণয় করে। একই বর্ণের পশমের নানা প্রকার shade হয় যেমন ফিকে সবুজ, গাঢ় সবুজ।

১৫৭। **স্বচ্ছ বস্তুর বর্ণঃ** যখন সাদা আলো স্বচ্ছ বস্তুর উপর পড়ে, বস্তুর প্রকৃতি অনুযায়ী সাদা আলোর কতকাংশ বস্তুর দ্বারা শোষিত হয়, কতকাংশ ইহার ভিতর দিয়া চলিয়া যাইয়া আমাদের চোখে পড়ে। **এই অতিক্রান্ত (transmitted) রশ্মির বর্ণই স্বচ্ছ বস্তুর বর্ণ নির্ণয় করে।** লাল কাচকে লাল দেখায় কারণ ইহা লাল বর্ণ ব্যতীত সব বর্ণের রশ্মিই শোষণ করে কেবল লাল বর্ণের রশ্মি ইহার ভিতর দিয়া চলিয়া যায়। আবার বস্তু যে বর্ণের সেই বর্ণ ছাড়া অন্য বর্ণের আলোতে বস্তুকে কালো দেখায়। লাল ফুলকে লাল কাচের মধ্য দিয়া দেখিলে লাল দেখায় কিন্তু সবুজ কাচের ভিতর দিয়া দেখিলে লাল ফুলকে কালো দেখায়। সবুজ বা নীল বস্তুকে লাল কাচের মধ্য দিয়া কালো দেখায়। কারণ বস্তু হইতে সবুজ বা নীল রশ্মি লাল কাচ কর্তৃক শোষিত হয় সুতরাং বস্তু হইতে কোন বর্ণই আমাদের চোখে পৌছায় না সেইজন্য বস্তুকে কালো দেখায়। দুইটি রঙিন কাচ, মনে কর নীল ও লাল কাচ, এমনভাবে রাখা যায় যে একটির পশ্চাতে গায়ে গায়ে আর একটি থাকে তবে জোড়া কাচ একত্রে কালো দেখাইবে। প্রথমে সাদা আলো নীল কাচে পড়িলে উহা নীল বর্ণের রশ্মি ব্যতীত সব রশ্মিই শোষণ করে আবার লাল কাচ নীল বর্ণের রশ্মিও শোষণ করিয়া লয় সুতরাং কোন আলোক রশ্মিই চোখে পৌছায় না। অনেক সময় রঙিন কাচের বর্ণ বিশুদ্ধ হয় না, হলদে কাচ হলদে এবং তার সঙ্গে কিছু সবুজ ও নারঙ্গ বর্ণ অতিক্রম করায়, সবুজ কাচ সবুজ এবং তার সঙ্গে কিছু গাঢ়নীল ও সবুজ বর্ণ অতিক্রম করায় সুতরাং এই দুই কাচ একসঙ্গে পর পর জোড়া দিলে সবুজ দেখাইবে। স্বচ্ছ মাধ্যমের বেধের (thickness) উপর আপতিত আলোর শোষণের পরিমাণ নির্ভর করে। সুতরাং অতিক্রান্ত আলো কমবেশী হইলে স্বচ্ছ বস্তুর বর্ণ এক হয় না। কাচ পাত্রে অল্প নীল বা লাল জল রাখিলে ইহাদের প্রকৃত বর্ণ দেখা যায়। যতই রঙিন জলের বেধ বাড়ান যায় ততই শোষিত আলোর পরিমাণে বাড়ে, অতিক্রান্ত

আলোর পরিমাণ কমে, সেইজন্য জলকে কালো দেখায়। বর্ণহীন খুব গভীর জলকে কাল দেখায়।

১৫৮। **মূল ও পরিপূরক বর্ণ** (Primary and complementary colours) : **বর্ণালি বর্ণের মিশ্রণ** (Mixture of spectral colours) : নিউটন পরীক্ষা দ্বারা সিদ্ধান্ত করেন যে সাদা আলোর সাতটি উপাদান আর বিশ্লিষ্ট করা যায় না অর্থাৎ সাতটি বর্ণ হইল শুদ্ধ, ইহাদের ভিতর অন্য কোন বর্ণ নাই কিন্তু সাত বর্ণের মধ্যে তিনটি বর্ণ **লাল, সবুজ** ও **নীলকে** উপযুক্ত অনুপাতে মিশাইলে বর্ণালির অন্য যে কোন বর্ণ উৎপন্ন করা যায়। অন্য বর্ণ মিশাইয়া এই তিন বর্ণ উৎপন্ন করা যায় না। এই তিন বর্ণকে **মৌলিক** বর্ণ বলে, যথা লাল ও সবুজ বর্ণ মিশাইলে হলদে হয়। বর্ণালির যে কোন দুই বর্ণের মিশ্রণে সাদা আলো উৎপন্ন হইলে এই দুই বর্ণকে **পরিপুরক বর্ণ** বলে। সাদা আলো হইতে যে কোন বর্ণের আলো বাদ দিলে বাকী বর্ণের মিশ্রণে যে নূতন আলো হয় তাহার বর্ণ সাদা হয় না, উহা অন্য একটি বর্ণ ধারণ করে। এই নূতন বর্ণ ও বাদ দেওয়া বর্ণ একত্রে মিশাইলে সাদা আলো পাওয়া যায়। সেই জন্য ইহারা পরস্পর পরিপূরক। এইরূপ দেখা যায় লাল ও সবুজে-নীল (greenish blue), নারঙ্গ ও prussian blue পরিপূরক বর্ণ।

১৫৯। **রঞ্জকের বর্ণ** (Colour of Pigment or Paint) : বর্ণালির দুই বর্ণের আলোর মিশ্রণ ও সেই দুই বর্ণের রঞ্জকের বা রংঙের মিশ্রণ ঠিক এক নহে। ইহাদের মধ্যে যথেষ্ট পার্থক্য আছে। নীল ও হলদে বর্ণের রঞ্জক মিশাইলে সবুজ রঞ্জক পাওয়া যায় কিন্তু বর্ণালির নীল ও হলদে বর্ণের আলো মিশাইলে সাদা আলো পাওয়া যায় কেন ? নীল রঞ্জক সাদা আলোর প্রধানতঃ নীল বর্ণের রশ্মি এবং পার্শ্ববর্তি সামান্য সবুজ ও গাঢ় নীল বর্ণের রশ্মি প্রতিফলন করে, বাকী বর্ণের রশ্মি শোষণ করে। হলদে রং প্রধানতঃ হলদে এবং পার্শ্ববর্তি সামান্য সবুজ ও নারঙ্গ বর্ণের রশ্মি প্রতিফলন করে, বাকী শোষণ করে। যখন হলদে ও নীল রং মিশান যায় তখন মিশ্রণ কেবলমাত্র সাদা আলোর সবুজ বর্ণ প্রতিফলন করে, অন্য সকল বর্ণ হলদে ও নীল রং পরস্পর শোষণ করে সেইজন্য রংয়ের মিশ্রণের

বর্ণ হয় সবুজ সুতরাং বর্ণালির বর্ণ মিশাইলে আমরা দুই বর্ণের যোগফল পাই। রঞ্জকের বর্ণ মিশাইলে আমরা বর্ণের বিয়োগফল বা বর্ণের শোষণ ফল পাই।

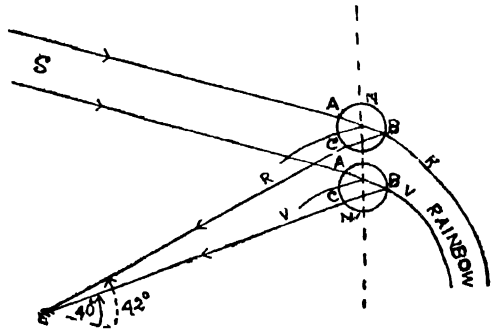
১৬০। **বর্ণ দৃষ্টিতত্ত্ব** (Theory of Colour Vision) ও **বর্ণান্ধ** (Colour Blindness): বিভিন্ন বর্ণের রশ্মি চক্ষুনার্ভে বিভিন্ন পরিমাণে অনুভূতি জাগায়। এই অনুভূতির পার্থক্যই বর্ণের পার্থক্য সৃষ্টি করে। যে রশ্মি চক্ষুনার্ভে সবুজের অনুভূতি জাগায় তাহাকে সবুজ রশ্মি বলে। যখন দুইটি বর্ণের রশ্মি এক সঙ্গে চোখে প্রবেশ করে তখন মিশ্রিত অনুভূতি উৎপন্ন হয়। Young Helmholtz আবিষ্কৃত **বর্ণ দৃষ্টি-তত্ত্ব** অনুযায়ী চোখে তিন প্রকার নার্ভগুচ্ছ আছে যাহারা তিনটি মৌলিক বর্ণ লাল, সবুজ ও নীল বর্ণের উত্তেজনায় সাড়া দেয় এবং তিনটি বর্ণের অনুভূতি জাগায়। তিনটি নার্ভ যে অনুপাতে উত্তেজিত হয় কোন বস্তুর বর্ণ সেই অনুপাতের উপর নির্ভর করে। সুতরাং কোন বস্তুর বর্ণ তিনটি মৌলিক অনুভূতির মিশ্রণের ফল। যখন সবুজের ও হলদের নার্ভ ২ : ১ অনুপাতে উত্তেজিত হয় তখন হল্‌দের অনুভূতি জাগ্রত হয়। যদি একটি নার্ভগুচ্ছ সম্পূর্ণরূপে অকেজো হয় তখন চোখ সেই নার্ভের বিশিষ্ট বর্ণ দেখিতে পায় না, এইরূপ চক্ষু বিশিষ্ট লোককে **বর্ণান্ধ** বলে। যাহার লাল বর্ণের নার্ভ অকেজো হয়, সে ব্যক্তি মোটেই লাল বর্ণ দেখিতে পাইবে না। লাল ফুল তাহার নিকট কাল বলিয়া বোধ হইবে।

১৬১। **অক্ষিপটের ক্লান্তি** (Retinal Fatigue): কিছুক্ষণ একটি উজ্জ্বল বস্তুর দিকে একদৃষ্টে তাকাইয়া হঠাৎ কোন সাদা বস্তুর দিকে চোখ ফিরাইলে উজ্জ্বল বস্তুর প্রকৃত বর্ণ বা আকৃতি দেখিতে না পাইলেও তাহার আকৃতি (প্রতিবিম্ব) মোটা কাল সীমারেখায় দেখা যায়। ইহাকে **অক্ষিপটের ক্লান্তি** বলে। অক্ষিপটের নার্ভতন্তু যেখানে উজ্জ্বল বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠিত হয় সেখানটা জোর আলোতে উত্তেজিত হইলে হঠাৎ কম আলোতে সাড়া দেয় না। যে সাময়িক প্রতিবিম্ব দেখা যায় তাহাকে after-image বলে। এই প্রতিবিম্বের বর্ণ ও বস্তুর প্রকৃত বর্ণ পরস্পর পরিপূরক। সাদা পর্দার উপর অঙ্কিত লাল দাগের উপর একদৃষ্টে কিছুক্ষণ তাকাইয়া হঠাৎ সাদা দেওয়ালের দিকে তাকাইলে আমরা দেওয়ালে একটা সবুজে নীল (greenish blue) দাগ দেখিব, কেন? কারণ লাল দাগের দিকে অনবরত

তাকাইয়া থাকিলে লাল বর্ণের অক্ষিপটের নার্ভ ক্লান্ত হয়। এখন সাদা বস্তুর দিকে তাকাইলে লাল ছাড়া সাদা বর্ণের অপর সকল বর্ণের মিশ্রণের অনুভূতি অক্ষিপটে জাগ্রত হয় সেইজন্য লাল বর্ণের পরিপূরক বর্ণ সবজে-নীল বর্ণ দেখি। একই কারণে লাল বর্ণের backgroundএ অঙ্কিত নীল দাগের দিকে এক দৃষ্টিতে তাকাইয়া হঠাৎ সাদা দেওয়ালের দিকে তাকাইলে আমরা নীল-লাল দাগ দেখিব।

১৬২। আকাশের বর্ণ: তীরে দণ্ডায়মান জাহাজের গায়ে বিভিন্ন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ আঘাত করিলে দেখা যায় যে কেবলমাত্র ছোট তরঙ্গগুলি (অর্থাৎ ক্ষুদ্র তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট তরঙ্গ) জাহাজের গা হইতে ফিরিয়া যায় অর্থাৎ প্রতিফলিত হয় কিন্তু বড় তরঙ্গগুলির অগ্রগতি জাহাজ রোধ করিতে পারে না। ইহারা অপ্রতিহতগতিতে অগ্রসর হইয়া যায়। এইরূপ যখন বিভিন্ন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট বিভিন্ন তরঙ্গ সূর্য হইতে নির্গত হইয়া বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়া যাইবার সময় অসংখ্য ধূলি প্রভৃতি কণার সহিত ধাক্কা খায় তখন এই সকল কণা সকল ছোট তরঙ্গকে (যথা নীল ও বেগুণী বর্ণের তরঙ্গ) বাধা দেয় কিন্তু বড় তরঙ্গকে (যথা লাল বর্ণের তরঙ্গ) বাধা দিতে পারে না। সুতরাং নীল ও বেগুণী বর্ণের তরঙ্গগুলি কণার দ্বারা চারিদিকে বিক্ষিপ্ত হয় সেইজন্য আমরা আকাশকে নীল বর্ণের দেখি।

১৬৩। রামধনু (Rainbow): সূর্য্যালোক যখন বৃষ্টির ফোঁটার বা ফোয়ারার জলকণার উপর পড়ে তখন আকাশে সৌর বর্ণালিকে বৃত্তাকারে দেখা যায়। ইহাকে **রামধনু** বলে। জলকণা কর্তৃক সূর্য্যরশ্মির প্রতিফলন, প্রতিসরণ ও বিচ্ছুরণের ফলে রামধনুর উৎপত্তি হয়। কোন লোক সূর্যের দিকে পিছন ফিরিয়া দাঁড়াইয়া থাকিলে এবং তাহার সম্মুখে বৃষ্টি পড়িলে তবে সে রামধনু দেখিবে। সাধারণতঃ বৃত্তের বাহিরের দিকে লাল ও ভিতরের দিকে বেগুনীবর্ণ থাকে। এই রামধনুকে **মৌলিক রামধনু** (Primary Rainbow) বলে। অনেক সময় মৌলিক রামধনুর বাহিরে আর একটি রামধনু দেখা যায় অর্থাৎ ইহাতে বেগুণী থাকে সকলের বাহিরে এবং লাল থাকে সকলের ভিতরে। ইহাকে **গৌণ রামধনু** (Secondary Rainbow বলে।

মৌলিক রামধনু : কোন বৃষ্টির ফোঁটার উপর সূর্যরশ্মি পতিত হইলে ফোঁটার সম্মুখ তলের A বিন্দুতে রশ্মি প্রতিসৃত হইয়া রশ্মি ফোঁটার মধ্যে ঢোকে এবং পশ্চাত B বিন্দুতে আপতিত হইয়া কতকাংশ প্রতিফলিত হইয়া C বিন্দুতে পুনরায় প্রতিসৃত হইয়া ফোঁটা হইতে নির্গত হয়। প্রত্যেক রশ্মিই আপতিত পথ হইতে বিচ্যুত হয় অর্থাৎ বাঁকিয়া (deviated) যায়। বিভিন্ন সাত বর্ণের এই চ্যুতি-কোণ বিভিন্ন হয় সুতরাং একই রশ্মি ফোঁটার মধ্য দিয়া যাইলে সাত বর্ণে বিচ্ছুরিত হয় এবং একটি বর্ণালি উৎপন্ন করে। ইহা দেখা গিয়াছে যে (১) ফোঁটার সম্মুখ তলে রশ্মিগুচ্ছ বিভিন্ন কোণে আপতিত হইলেও যদি চ্যুতি ন্যূনতম হয় তবে নির্গত রশ্মিগুচ্ছ একই দিকে কাছাকাছি থাকে যাহাতে চোখ দেখিতে পায়। (২) যখন ফোঁটা হইতে নির্গত লাল

১৪৬নং চিত্র

ও বেগুনী রশ্মি দর্শকের চোখ E ও সূর্য সংযোজক রেখা E Kর সহিত যথাক্রমে ৪২° ও ৪০° হয় তখনই কেবল বর্ণালি দেখা যায়। অতএব এই রেখা E K কে অক্ষ (axis) ধরিয়া এবং E তে ৪২° অর্ধ শীর্ষক কোণ (semi vertical) ধরিয়া যদি একটি শঙ্কু (cone) আঁকা যায় তবে শঙ্কুর সীমান্ত তলে (bounding surface) অবস্থিত সমস্ত বৃষ্টির ফোঁটা হইতে নির্গত লাল রশ্মি দর্শকের চোখে পৌছিবে। আবার বেগুনী রশ্মিগুলি E K রেখার সহিত ৪০° আনত থাকে। সুতরাং একই শীর্ষ (apex) ও একই অক্ষ লইয়া কিন্তু ৪০° কে অর্ধ শীর্ষক কোণ লইয়া শঙ্কু আঁকিলে শঙ্কুর সীমান্ত তলে অবস্থিত সমস্ত ফোঁটা হইতে নির্গত বেগুনী রশ্মি চোখে

পৌঁছিবে। অন্য বর্ণগুলি মধ্যবর্তি অবস্থানে দেখা যাইবে। সুতরাং বিভিন্ন বর্ণের বৃত্তাংশ বিভিন্ন কোণে দেখা যাইবে। অতএব আকাশে একটি সাতবর্ণের ধনু দেখা যাইবে। ধনুর কৌণিক বেধ ২°। এই ধনুতে লাল থাকে বাহিরের দিকে, বেগুনী থাকে ভিতরের দিকে।

গৌণ রামধনু: ইহাতে সূর্যরশ্মি ফোঁটার মধ্যে দুইবার প্রতিফলিত ও দুইবার প্রতিসৃত হয়। লাল ও বেগুনী রশ্মি E K রেখার সহিত যথাক্রমে ৫৪° ও ৫১° কোণে নির্গত হয়। এই ধনুতে লাল থাকে ভিতরের দিকে, বেগুনী থাকে বাহিরের দিকে।

১৬৪। **শোষিত বিকীরণের পরিবর্তন** (Transformation of absorbed wave or radiation): যখন আলোক তরঙ্গ কোন বস্তু দ্বারা শোষিত হয় তখন সাধারণতঃ বস্তুটির উষ্ণতা বাড়ে এবং উহা হইতে তাপ তরঙ্গ উদ্ভূত হয়। ইহার অর্থ এই যে বস্তু দ্বারা ছোট আলোক তরঙ্গ বড় তাপ তরঙ্গে পরিণত হয়। আবার অনেক বস্তু আছে যাহারা একপ্রকার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট আলোক তরঙ্গকে শোষণ করিয়া অন্য প্রকার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট আলোক তরঙ্গ নির্গত করে। এইরূপ গুণ বস্তুর নিজ প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

এইরূপ ঘটনা তিন প্রকার:—(ক) **প্রতিপ্রভা** (Fluorescence): কতকগুলি বস্তুর উপর এক বর্ণের আলো আপতিত হইলে উহারা দীপ্তিময় (luminous) হয় এবং অন্য বিভিন্ন বর্ণের আলো দিতে (emit) থাকে। অর্থাৎ ইহারা এক তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ (যেমন বেগুণী) শোষণ করিয়া অপর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ (যেমন নীল) নির্গত করে। এই ঘটনাকে **প্রতিপ্রভা** এবং ঐ সকল বস্তুকে **প্রতিপ্রভ** (Fluorescent) বলে। যতক্ষণ আপতিত আলো ইহাদের উপর পড়ে ততক্ষণই ইহারা প্রতিপ্রভ থাকে। (Fluorspar, Calcium Fluoride) নামক পদার্থে এই ঘটনা প্রথম দেখা যায় বলিয়া এই ঘটনাকে Fluorescence বলে। এই ঘটনা প্রতিফলন হইতে পারে না কারণ প্রতিফলনে আপতিত ও প্রতিফলিত রশ্মি একই বর্ণের হয়। কোহলে Chlorophyll (গাছের সবুজ রং) গুলিয়া সেই দ্রবকে অন্ধকার ঘরে সাদা আলোর রশ্মিগুচ্ছে ধরিলে দ্রব হইতে চারিদিকে উজ্জ্বল লাল আলোর রশ্মি বাহির

হইবে। কাচফলকে Uranium oxide লাগাইয়া সাদা আলোয় ধরিলে ফলক হইতে নির্গত আলো হল্‌দে হয় এবং কাচ ফলককে সবুজ দেখায়। প্যারাফিন তৈল, aniline জাতীয় রঞ্জক এইরূপ প্রতিপ্রভ বস্তু।

একটি বড় পাত্রে কোন প্রতিপ্রভ বস্তুর দ্রব (solution) রাখিয়া উহাতে সাদা আলোর সমান্তরাল রশ্মি ফেলিলে দ্রবের উপরতলে উজ্জ্বল হলদে সবুজ (yellowish green) বর্ণের আলো দেখা যাইবে। এই আলোর উজ্জ্বলতা উপরতল হইতে দ্রব্যের বেধের (thickness) অনুপাতে কমিয়া যাইবে এবং বেশী ভিতরে একবারে কোন প্রভা দেখা যাইবে না অর্থাৎ প্রতিপ্রভ কেবল বস্তুর উপরতলের কাছাকাছি সম্ভব হয়। কারণ আপতিত সাদা আলো যাহা দ্রবে প্রতিপ্রভা ঘটায় তাহা দ্রব্যের উপর বাহিরের স্তর কর্তৃক শোষিত হইয়া যায়। সেইজন্য ভিতরের স্তরে আর সাদা আলো পৌছায় না সুতরাং ভিতরের স্তরে প্রতিপ্রভ সম্ভব হয় না। উপরের তল হইতে নির্গত আলোর বর্ণালিতে নীল প্রান্ত দেখা যায় না। ইহা হইতে বোঝা যায় যে সাদা আলোর নীল বর্ণের রশ্মি শোষিত হইয়া সবজে হলুদ বর্ণের রশ্মিরূপে দেখা দেয়। আবার কোন বিশেষ বস্তুতে বিশেষ বর্ণের আলো পড়িলে তবে প্রতিপ্রভ সম্ভব হয়। পরীক্ষা নলে Quinine sulphateএর দ্রব ও দু'এক ফোঁটা sulphuric অম্ল লইয়া পরীক্ষা-নলকে উজ্জ্বল নিরবচ্ছিন্ন সৌর বর্ণালির লাল, সবুজ ও হলদে অংশে পর পর রাখিলে দ্রব হইতে যথাক্রমে একই প্রকার লাল, সবুজ ও হলদে বর্ণের আলো নির্গত হয় কিন্তু নীল ও বেগুণী অংশে রাখিলে ফিকে নীল বর্ণের আলো নির্গত হয়। অদৃশ্য অতিবেগুণী (ultra violet) অংশে রাখিলে দৃশ্য নীল বর্ণের আলো নির্গত হয়। Barium platinocyanideএর পর্দা সৌর বর্ণালির বেগুণী ও অতি বেগুণী অংশে রাখিলে ফিকে সবুজ (greenish) আলো দেয় এবং X-রশ্মিতে রাখিলে হল্‌দে আলো দেয়। সেইজন্য X-রশ্মি পরীক্ষাকালে Barium plantinocyanideএর পর্দা ব্যবহার করা হয়। কতকগুলি বস্তুতে অদৃশ্য অতিবেগুণী বিকীরণ নিক্ষেপ করিলে উহারা শোষিত হইয়া বড় দৃশ্য তরঙ্গের বিকীরণে পরিণত হয়। ঘড়ির সম্মুখ ভাগে (dial) radiumএর কোন যৌগিক পদার্থ ও স্ফটিক (crystalline) zinc-sulphide এর মিশ্রণের

প্রলেপ থাকে। Zinc-sulphide প্রতিপ্রভ বস্তু। Radium হইতে উদ্ভূত α-রশ্মি zinc-sulphide এর উপর পড়িলে সবুজ হল্‌দে আলো নির্গত হয়। ইহাতে ঘড়ির কাঁটা অন্ধকারে দেখা যায়।

অতএব দেখা যায় যে (১) প্রতিপ্রভা কোন বস্তুর উপরতল হইতে খানিকটা ভিতরে সম্ভব হয়; বস্তুর বেশী ভিতরে প্রতিপ্রভা দেখা যায় না। (২) শোষিত আলোক শক্তি নির্গত আলোক শক্তিতে পরিণত হয়। (৩) সাধারণতঃ আপতিত অর্থাৎ উত্তেজক (exciting) আলোক রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নির্গত আলোক রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য অপেক্ষা কম হয়। ইহাকে stoke এর নিয়ম বলে। স্যার রমন দেখাইয়াছেন যে আপতিত রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নির্গত রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য অপেক্ষা বেশীও হইতে পারে।

প্রতিপ্রভার ব্যবহার:—বস্তুর প্রতিপ্রভা দিয়া অতিবেগুণী আলো পরীক্ষা করা হয় এবং তরলের মধ্য দিয়া আলোক রশ্মির পথ দেখা যায়। প্রতিপ্রভা দেখিবার জন্য Quartz দ্বারা তৈরী লেন্স ও প্রিজম ব্যবহার করা হয়।

(খ) **অনুপ্রভা** (Phoshphorescence): কতকগুলি বস্তুকে যথা Calcium, Barium, Strontium এর sulphide সাদা আলোয় কিছুক্ষণ রাখিয়া আলো হইতে **সরাইয়া লইলেও** উহারা কিছুক্ষণ অন্ধকারে আলো দিতে থাকে। এই ঘটনাকে **অনুপ্রভা** বলে। Phoshpohous অন্ধকারে ফিকে সবুজ আলো দেয় বলিয়া এই ঘটনার নাম Phoshphorescence হইয়াছে যদিও Phoshphorus অক্সিজেনের সহিত রাসায়নিক সংযোগে এইরূপ আলো দেয়। Calcium ও Barium sulphideএর রঞ্জক দিনের বেলায় সাদা আলো শোষণ করে এবং রাত্রির অন্ধকারে আলো দেয়। অবশ্য বিভিন্ন বস্তু অন্ধকারে বিভিন্ন সময় পর্যন্ত অনুপ্রভ থাকে। Balmain এর উজ্জ্বল রঞ্জক অন্ধকারে কয়েক ঘণ্টা আলো দেয় আবার কতকগুলি অনুপ্রভ বস্তু মাত্র কয়েক সেকেণ্ড আলো দেয়। বেগুণী ও অতিবেগুণী রশ্মিই অনুপ্রভা ও প্রতিপ্রভা সংঘটন করিতে খুব কার্যকরী (effective) হয়। উষ্ণতা বাড়াইলে বস্তুর অনুপ্রভ গুণ বাড়িয়া যায়। সেইজন্য অবলোহিত (infra-red) রশ্মিতে কোন বস্তু রাখিলে উহা উজ্জ্বলভাবে অনুপ্রভ হয়। অনুপ্রভা ও প্রতিপ্রভার মধ্যে পার্থক্য এই যে

উত্তেজক আপতিত আলো সরাইয়া লইলেও অনুপ্রভা বস্তু আলো দিতে থাকে কিন্তু প্রতিপ্রভ বস্তু নিভিয়া যায়। জোনাকি ও কতকগুলি সামুদ্রিক জন্তু কর্তৃক প্রদর্শিত দীপ্তি অনুপ্রভা নহে। উহা উহাদের নিজস্ব দীপ্তি।

(খ) **তাপাপণ** (Calorescence): কতকগুলি বস্তু দীর্ঘ তাপ তরঙ্গ শোষণ করিয়া ক্ষুদ্র আলোক তরঙ্গ নির্গত করে। এই ঘটনাকে **তাপাপণ** বলে। যদি আর্ক দীপের (are lamp) আলো carbon disulphideএ Iodine দ্রবের মধ্য দিয়া অতিক্রম করাইলে দ্রব দৃশ্য আলোক তরঙ্গ শোষণ করিবে এবং অদৃশ্য তাপ তরঙ্গ দ্রবের মধ্য দিয়া অতিক্রম করিবে। যদি এই তাপ তরঙ্গকে কাল পাতলা প্লাটিনাম পাতে কেন্দ্রীভূত করা যায় তবে পাতটি খুব দীপ্তিময় হইবে অর্থাৎ তাপ তরঙ্গে ক্ষুদ্রতর আলোক তরঙ্গে পরিণত হইবে।

প্রশ্ন

1. What is dispersion ? Describe an arrangement of apparatus by which a pure spectrum may be projected on a screen.

(C. U. 1911, '13, '14, '17, '22, '28, '31, '39, '45, '47 ; Pat. 1920, '26, '28, '30, '31 ; All. 1916, '22, '23, '31 ; Dac. '30, '32, '24).

Explain the function of each part of the apparatus. Draw a careful diagram of your arrangement, showing the order of the colored rays on the screen.

2. What is spectrum ? Distinguish between a real and a virtual spectrum, a pure and an impure spectrum. (Pat. 1941).

3. Discuss in general terms the spectrum produced by the following :—

(*a*) When the sun is used as a source of light, (*b*) when the light is produced by an incandescent solid, (*c*) when the flame of a Bunsen burner is coloured by sodium light, (*d*) when the light is produced by a luminous gas flame.

(C. U. 1923, '25, '28, '32, '45 ; Pat. '28, '36 ; Cf Dac. '29, '35).

4. A clean platinum wire is gradually heated in a non-luminous Bunsen flame and observed through a spectroscope ; State what you observe. (C. U. 1933).

5. What is a pure spectrum and how can it be produced? Describe experiments to show that the radiation from an arc lamp extends beyond red at one end and beyond violet at the other end of the spectrum. (Pat. 1931).

(উঃ অবলোহিত অংশে থার্মপাইল বা ইথার তাপবীক্ষণ যন্ত্র দ্বারা তাপ বিকীরণ পরীক্ষা করা হয়। অতি বেগুনী অংশে ফটোগ্রাফিক পাতের দ্বারা তাপ বিকীরণ পরীক্ষা যায়।)

6. Describe a spectrometer. Explain why it is necessary to place the prism in the minimum deviation position. (C. U. 1937).

7. Describe the various forms of spectra that may be obtained illustrating each type by an example. (C. U. 1916 ; All '23).

8. Objects which appear variously coloured in white light are illuminated by sodium flame. Describe and explain the effects observed. (C. U. 1909, '11, '24)

9. What are Fraunhofer lines in a solar spectrium ? How has their origin been explained ?

10. Describe a solar spectrum, and give a general explanation of the dark lines in the spectrum. (C. U. 1913 ; All. '23).

11. Describe and explain the use of a spectroscope. (C. U. 1911. '16, '18 ; Cf. '46.)

12. Describe the constituent parts of a spectroscope and their functions. State how would you fit it up and show the path of monochromatic light through it. (C. U. 1935 ; Cf. Pat. '34, '46).

13. Describe the different parts of a spectrometer. How will you proceed to use the instrument to find the refractive index of a prism ? (All. 1946.)

14. Distinguish between dispersion and deviation. Describe a contrivance by which you can get dispersion without deviation. (C. U. 1922, '25, Cf '46 ; All. 1921, '44 ; Pat. 1936).

15. Give a short description, with a neat diagram, of the direct-vision spectroscope. (C. U. 1933 ; All. '44).

16. Describe any compact apparatus that may be in use to obtain a pure spectrum. (Pat. 1930 ; C. U. '44).

17. What experimental arrangement would you make to show the composite character of white light ?

18. Describe any two methods of re-compounding, to form white light, the various kinds of light obtained in a spectrum. (C. U. 1946).

19. What is the colour of an object due to? Explain why (*a*) a mixture of ordinary blue and yellow pigments appear green, and (*b*) when dark blue crystals are grounded into fine powder, the colour of the latter appears to be light blue. (Pat. U. 1940 ; C. U. '41).

20. Blue and yellow sectors on a rotating disc give white while blue and yellow glasses combined transmit deep green or none at all. Explain. (Pat. 1927)

21. Write short notes on the following :—(*a*) Complementary colours, (*b*) Phosphorescence, (*c*) Fraunhofer lines. (C. U. 1922).

22. Why do ordinary blue and yellow pigments appear green when mixed? Objects which appear variously coloured in white light are illuminated by sodium flame. Describe and explain the effects observed. (C. U. 1919, '44).

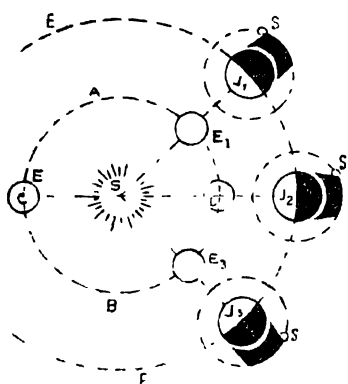
23. A man gazes intently, for a time, at a red square painted on a piece of white card board. He then looks at a white screen and appears to see a square of different colour. What colour does he see? Explain the phenomenon. The expt. is repeated with a blue square painted on a red background. Describe and explain what the observer notices on looking at a white screen immediately afterwards. (C. U. 1941).

24. Write short notes on (*a*) Rainbow, (*b*) Fraunhofer lines, (*c*) Achromatic combination, (*d*) line spectra.

25. What is the difference between phosphorescence and fluorescence? (All. 1921 ; Cf. C. U. '35).

আলোকের বেগ (Velocity of Light)

১৬৫। **রোমারের প্রণালী** (Romer's method)—আমরা পূর্বে দেখিয়াছি আলোক সরলরেখায় গমন করে। ১৬৭৬ খৃষ্টাব্দে ডেনমার্কের জ্যোতির্বিদ রোমার আবিষ্কার করেন যে আলোকের এই গতির একটি নির্দিষ্ট বেগ আছে। এই বেগ এত বেশী যে তোমরা শুনিলে অবাক হইবে। আলোক প্রতি সেকেণ্ডে ১ লক্ষ ৮৬ হাজার মাইল পথ অতিক্রম করে। পার্থিব জগতে কোন বস্তুর ইহা অপেক্ষা অধিক বেগ নাই।

আলোকের ন্যায় শব্দেরও বেগ আছে। ইহা ৫·৮ সেকেণ্ডে এক মাইল চলে। মনে কর A স্থান হইতে ১৫ মিনিট অন্তর একটি বন্দুক ছোড়া হইতেছে। কয়েক মাইল দূরের B স্থানে কোন লোক যদি স্থির থাকে তবে সে বন্দুকের আওয়াজ ১৫ মিনিট অন্তর শুনিতে পাইবে। যদি সে A স্থানের দিকে ১৫ মিনিটে ১ মাইল বেগে অগ্রসর হয় তবে সে দ্বিতীয় আওয়াজ ৪·৮ সেকেণ্ড আগে শুনিবে অর্থাৎ প্রথম ও দ্বিতীয় আওয়াজের মধ্যে ব্যবধান ১৫ মিনিটের পরিবর্তে ১৪ মিঃ ৫৫·২ সেঃ হইবে। এইরূপে সে A স্থানের দিকে ১০ মাইল অগ্রসর হইলে সে ১১ বার আওয়াজ শুনিবে কিন্তু একাদশ আওয়াজ শুনিবে ১৫ মিনিটের ১০ × ৪·৮ = ৪৮ সেঃ আগে। এখন যদি সে পুনরায় B স্থানের দিকে ফিরিয়া আসে তবে দুই আওয়াজের মধ্যে সময়ের ব্যবধান ক্রমশঃ বাড়িবে। যখন লোকটি পুনরায় B স্থানে আসিবে তখন ব্যবধান পুনরায় ১৫ মিনিট হইবে এবং সে এক বিংশতিতম আওয়াজ ঠিক সময়ে শুনিবে। শব্দের বেগের এই দৃষ্টান্ত আলোকের বেগ বুঝিতে সাহায্য করিবে।

১৪৭নং চিত্র

পৃথিবী হইতে রোমার বৃহস্পতির (Jupiter) একটি উপগ্রহের (Satellite) বিভিন্ন গ্রহণের সময় দূরবীণের সাহায্যে পর্য্যবেক্ষণ করিয়া নিম্নলিখিত প্রণালীতে আলোকের বেগ নির্ণয় করেন।

পৃথিবী ও বৃহস্পতি সূর্যের চারিদিকে বিভিন্ন কক্ষে (orbit) ঘুরিতেছে। সূর্য হইতে পৃথিবী অপেক্ষা বৃহস্পতি বহু দূরে অবস্থিত বলিয়া বৃহস্পতির কক্ষ EF পৃথিবীর কক্ষ ABCD অপেক্ষা বহুগুণ বৃহত্তর। সুতরাং ইহাদের সূর্যকে প্রদক্ষিণ করিবার সময়ও বিভিন্ন হয়। পৃথিবী সূর্যের চারিদিকে ABCD পথে একবার ঘোরে ১ বৎসরে এবং বৃহস্পতি সূর্যের চারিদিকে EF পথে একবার ঘোরে ১১.৮৬ বৎসরে। যেমন পৃথিবীর চারিদিকে চন্দ্র ঘোরে তেমন বৃহস্পতির চারিদিকে নির্দিষ্ট সময় কতকগুলি উপগ্রহ ঘোরে। প্রত্যেক গ্রহের ন্যায় বৃহস্পতির নিজস্ব কোন আলো নাই। সূর্যের আলোতে আমরা গ্রহ বা উপগ্রহকে দেখিতে পাই। এইরূপ ঘুরিবার সময় যখন কোন গ্রহ সূর্য ও উপগ্রহের মধ্যে আসে তখন উপগ্রহে গ্রহণ হয়। দেখা গিয়াছে যে বৃহস্পতির একটি উপগ্রহের প্রায় দুইদিন অন্তর গ্রহণ হয়। এই উপগ্রহের একটি পূর্ণ আবর্তনের সময় প্রায় ৪৮ ঘণ্টা ২৮ মিনিট ৩৫ সেকেণ্ড। সুতরাং এই উপগ্রহ ৪৮ ঘণ্টা ২৮ মিনিট ৩৫ সেকেণ্ড অন্তর একবার বৃহস্পতির ছায়ার মধ্যে ঢুকিয়া গ্রহণ সৃষ্টি করে। বৃহস্পতি হইতে পৃথিবীতে আলোক আসিতে সময় লাগে বলিয়া ঠিক যে মুহূর্তে উপগ্রহ ছায়ায় প্রবেশ করে ঠিক সেই মুহূর্তে গ্রহণ দেখা যায় না, কিছু পরে দেখা যায়, আবার ইহা সত্ত্বেও এক গ্রহণ দেখিবার পর ৪৮ ঘণ্টা ২৮ মিনিট ৩৫ সেকেণ্ড পর পরবর্তি গ্রহণ দেখা যাইত যদি না ইতিমধ্যে বার্ষিক গতির জন্য পৃথিবী ও বৃহস্পতির মধ্যের দূরত্ব না বদলাইত।

মনে কর E_1 পৃথিবী, S সূর্য্য, J বৃহস্পতি। পৃথিবীর কক্ষে C বিন্দু বৃহস্পতি হইতে দূরতম বিন্দু, D বিন্দু বৃহস্পতি হইতে নিকটতম বিন্দু। যখন পৃথিবী D কিংবা C বিন্দুতে থাকে তখন ইহা বৃহস্পতি ও পৃথিবী সংযোজক রেখার উপর লম্বভাবে ঘুরিতে থাকে। এই দুই অবস্থানে দুই দিনের ব্যবধানে পৃথিবী ও বৃহস্পতির মধ্যে দূরত্বের বেশী পার্থক্য হয় না। সুতরাং এই দুই অবস্থানে দুইটি গ্রহণের সময়ের ব্যবধান প্রায় ৪৮ ঘণ্টা ২৮ মিনিট ৩৫ সেকেণ্ড। পৃথিবীর কক্ষে C এর

নিকটবর্ত্তী অবস্থান হইতে গ্রহণ পর্য্যবেক্ষণ করিয়া বৎসরের সমস্ত গ্রহণগুলির সময় গণনা করা যায়, কিন্তু পর্য্যবেক্ষণ করিয়া দেখা গিয়াছে যে পৃথিবী যেমন C হইতে B পথ দিয়া D এর অভিমুখে অগ্রসর হয় গ্রহণগুলি গনণালব্ধ সময়ের (calculated time) আগেই দেখা যায়। D তে যখন পৃথিবী পৌছায় তখন C অপেক্ষা ১৬½ মিনিট আগে গ্রহণ দেখা যায়। পৃথিবী বাকি অর্ধ বৎসরে যখন D হইতে A পথ দিয়া পুনরায় C এর দিকে আগাইয়া আসে গ্রহণের দৃষ্ট সময় গণনালব্ধ সময়ের কাছাকাছি হইতে থাকে। C তে পৃথিবী আসিলে পুনরায় দৃষ্ট সময় ও গণনালব্ধ সময় এক হইয়া যায়। শব্দের বেগের দৃষ্টান্তে লোকটি যেমন বন্দুকের দিকে আগাইয়া আসে তখন দুই আওয়াজের ব্যবধান কমে। D তে দৃষ্ট ও গণনালব্ধ সময়ের পার্থক্য ১৬½ মিনিট হয় কেন ? কারণ J হইতে D তে আলো আসিতে যে সময় লাগে, C তে যাইতে তার চেয়েও ১৬½ মিনিট বেশী লাগে অর্থাৎ D হইতে C দূরত্বে আলো আসিতে ১৬½ মিনিট লাগে। D হইতে C দূরত্ব = পৃথিবীর কক্ষের ব্যাস = ২৯৬,০০০,০০০ কিলোমিটার = ১৮৪,০০০,০০০ মাইল। ১৬½ মিনিট = ৯৯০ সেকেণ্ড।

$$\therefore \text{ আলোকের বেগ} = \frac{১৮৪,০০০,০০০}{৯৯০} \text{ মাইল প্রতি সেকেণ্ড}$$

= ১৮৬০০০ মাইল প্রতি সেকেণ্ড। আধুনিক গবেষণায় আলোকের বেগ = ২৯৯,৮৯০ কিলোমিটার প্রতি সেকেণ্ডে।

ভুল : (ক) রোমার কক্ষকে বৃত্তাকার ধরিয়াছিলেন কিন্তু ইহা প্রকৃত উপবৃত্তাকার (elliptical). (খ) রোমারের কালে সঠিক সময় দেখিবার কোন Chronometer ঘড়ি ছিল না।

১৬৬। **আলোক-বর্ষ** (Light year) **:** নক্ষত্রাদি জ্যোতিষ্কের মধ্যে দূরত্ব এত বেশী যে তাহা মাইলে প্রকাশ করা অসুবিধাজনক। জ্যোতিষশাস্ত্রে (astronomy) এই বিরাট দূরত্ব মাপার এককে **আলোক-বর্ষ** বলে। এক বৎসরে আলোক যে দূরত্ব অতিক্রম করে সেই দূরত্বকে আলোক-বর্ষ বলে।

$\therefore$ এক আলোক-বর্ষ = ৩৬৫ × ২৪ × ৬০ × ৬০ × ১০^{৮} মিটার = ৯৪৬০৮ × ১০^{১১} মিটার কিংবা ১৮৬০০০ × ৩৬৫ × ২৪ × ৬০ × ৬০ মাইল।

১৬৭। **আলোক বাদ** (Theories of light): আলোকের সরল পথে গমন, আলোকের প্রতিফলন ও প্রতিসরণ প্রভৃতি যাবতীয় ঘটনা ব্যাখা করিবার জন্য দুইটি মতবাদের উৎপত্তি হইয়াছে। যথা:

(ক) **কণা বাদ** বা **নির্গমন বাদ** (Corpuscular or Emission Theory): এই মতবাদ অনুসারে নিম্নলিখিত বিষয় ধরিয়া লওয়া হয়:—

(১) আলোক-শক্তি কতকগুলি অতি ক্ষুদ্র (infinitesimally small) কণার (corpuscles) সমষ্টি। আলোকের উৎস হইতে দীপ্তিময় কণাগুলি অতি দ্রুত বেগে অনবরত চতুর্দিকে নির্গত হইতেছে। (২) কণাগুলি গ্যাসের বা স্বচ্ছ তরল ও কঠিনের সমস্বত্ব মাধ্যমে এবং শূন্যের মধ্য দিয়া সেকেণ্ডে ১৮৬০০০ মাইল বেগে সরল রেখায় ছুটিয়া চলে। (৩) কণাগুলি অক্ষিপটে আঘাত করিয়া আমাদের দৃষ্টি-অনুভূতি জাগ্রত করে। (৪) বিভিন্ন আকারের কণার দ্বারা বিভিন্ন বর্ণের সৃষ্টি হয়। (৫) সমস্বত্ব মাধ্যমে কণাগুলি সমবেগে যায়। কিন্তু অন্য মাধ্যমের তলে ধাক্কা খাইলে ইহাদের বেগ পরিবর্তিত হয়। দ্বিতীয় তলে হয় ইহারা আকৃষ্ট (attracted) হয়, না হয় বিকর্ষিত (repulsed) হয়। সুতরাং ইহাদের বেগের অভিমুখ ও পরিমাণ পরিবর্তিত হয়। ইহার ফলে আলোকের প্রতিফলন বা প্রতিসরণ হয়।

নিউটন এই মতবাদ সমর্থন করেন। ১৮০০ খৃষ্টাব্দ পর্য্যন্ত বৈজ্ঞানিক এই মতবাদ গ্রহণ করেন। পরে ইহা নানা কারণে পরিত্যক্ত হয়।

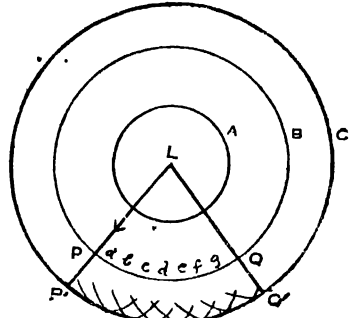
(খ) **তরঙ্গ বাদ** (Wave Theory): এই মতবাদ অনুসারে নিম্নলিখিত বিষয়গুলি ধরিয়া লওয়া হয়:—

(১) আলোকের উৎসর (যেমন গ্যাসের বাতির আলো) সূক্ষ্মতম কণাগুলি (electrones) অতিদ্রুত পর্য্যাবৃত্ত (periodic) গতি সম্পন্ন হয়। (২) বিশ্ব-ব্রহ্মাণ্ড ব্যাপিয়া একটি ওজনশূন্য মাধ্যম আছে। এই মাধ্যমকে **ইথার** (Ether) বলে। ইহা সমস্ত বস্তুর আণবিক ফাঁকের মধ্যেও পরিব্যাপ্ত। (৩) জলের মধ্যে একটি ঢিল ফেলিয়া জলকে আলোড়িত করিলে যেমন জলের উর্ধাধঃ (up-and-down বা transverse) গতি দ্বারা চতুর্দিকে তরঙ্গ উত্থিত হয় সেইরূপ

আলোকের উৎসর কণার পর্যাবৃত্ত স্পন্দন হইতে ইহার চতুর্দিকের ইথার মাধ্যমের কণাগুলি পর্যাবৃত্ত গতি সম্পন্ন হয় এবং ইহাতে ইথার মাধ্যমে তির্যক তরঙ্গ উত্থিত হয়। এই তরঙ্গের গতি-শক্তি পর পর ইথারের এক কণা হইতে পরবর্তি কণায় চালিত হয়। সুতরাং আলোক শক্তি ইথার মাধ্যমে **তরঙ্গের গতি** (Wave-motion) হইতে উৎপন্ন হয়। (৩) যাহাতে তরঙ্গগুলি অবাধে চলিতে পারে সেইজন্য ইথার নিরবচ্ছিন্ন (continuous), খুব বেশী স্থিতিস্থাপক ও খুব কম ঘনত্ব বিশিষ্ট হয়। (৪) জলের যেমন উর্ধাধঃ গতি হয় কিন্তু অগ্র-পশ্চাৎ গতি হয় না তেমন ইথারেরও উর্ধাধঃ গতি হয়, অগ্র-পশ্চাৎ গতি হয় না। এই তরঙ্গগুলি তির্যক (transverse) অর্থাৎ ইথারের কণাগুলি জলকণার মত তরঙ্গের গতিপথের সহিত সমকোণে উঠানামা করে। (৫) এই তির্যক তরঙ্গ অক্ষিপটে আঘাত করিলে আমরা দেখিতে পাই। (৬) এই তরঙ্গগুলির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (wave-length) ক্ষুদ্র কিন্তু ইহাদের বেগ অতি প্রচণ্ড।

১৬৮। **তরঙ্গ গতি** (Propagation of Waves): তরঙ্গবাদ অনুসারে আলোকের উৎসর প্রত্যেক বিন্দু আলোড়ন-কেন্দ্রে (centre of disturbance) পরিণত হয় সুতরাং প্রত্যেক বিন্দু হইতে সমস্বত্ব মাধ্যমে চতুর্দিকে সমবেগে তির্যক তরঙ্গ **বৃত্তাকারে** ছড়াইয়া পড়ে। যে কোন মুহূর্তে আলোক শক্তি একটি বর্তুলের (sphere) তলের উপর থাকিবে। ঐ বর্তুলের কেন্দ্র হইবে আলোড়নের কেন্দ্র। অতএব যে কোন মুহূর্তে এই বর্তুলের তলের উপরে অবস্থিত সকল ইথার কণা যুগপৎ একই ভাবে আন্দোলিত হয় এবং স্পন্দনের একই অবস্থায় বা দশায় (phase) থাকে। এই তলকে **তরঙ্গ-মুখ** (Wave front) বলে। কোন নির্দিষ্ট অভিমুখে এই তরঙ্গ-মুখের গতিই হইল আলোকের গতি। কোন সমস্বত্ব মাধ্যমে তরঙ্গের অভিমুখই তরঙ্গ-মুখের উপর অভিলম্ব হয় এবং এই অভিমুখ রশ্মি দ্বারা প্রকাশিত হয়।

মনে কর L একটি দীপক। এই দীপককে কেন্দ্র করিয়া চতুর্দিকে বর্তুলাকারে আলোক তরঙ্গ একই বেগে ছড়াইয়া পড়ে। মনে কর A, B, C, ...এইরূপ তরঙ্গ। মনে কর কোন মুহূর্তে PQ হইল তরঙ্গ-মুখের অবস্থান

সুতরাং PQর উপর অবস্থিত *a b c d*……বিন্দুগুলি একই দশায় থাকিবে। PQ হইল B বৃত্তের খানিকটা অংশ। LP রশ্মি তরঙ্গ-মুখ PQ উপর অভিলম্ব। কারণ LP হইল B বৃত্তের ব্যাসার্ধ; মনে কর পর মুহূর্তে তরঙ্গ-মুখ PQ অবস্থান হইতে P′Q′ তে আসে। এই মুহূর্তে P′Q′ উপর সমস্ত বিন্দু একই দশায় থাকিবে। দীপক হইতে যতই দূরে তরঙ্গ ছড়াইয়া পড়ে ততই উহার ব্যাসার্ধ বাড়িয়া যায়। বহু দূরে তরঙ্গগুলি এত বৃহৎ ব্যাসার্ধের হয় যে উহার সীমাবদ্ধ খানিকটা অংশ সমতল হয়। এই অবস্থায় তরঙ্গ-মুখকে সমতল ধরা হয় এবং রশ্মিগুলি প্রায় সমান্তরাল হয় সেইজন্য বহুদূর হইতে আগত সূর্য রশ্মিকে সমান্তরাল ধরা হয়।

১৪৮নং চিত্র

১৬৭। হাইজিনের নীতি (Huygen's Principle or Construction): বৈজ্ঞানিক হাইজিন আলোক তরঙ্গের গতির সম্বন্ধে নিম্নলিখিত নীতি প্রবর্তন করেন:

(ক) মূল তরঙ্গ-মুখ PQর উপর অবস্থিত প্রত্যেক ঈথার কণা (মনে কর *a*, *b*, *c*, *d*...) নূতন আলোড়ন-কেন্দ্রে পরিণত হয়।

(খ) এই সকল কণা হইতে আবার চতুর্দিকে আলোক তরঙ্গ বৃত্তাকারে ছড়াইয়া পড়ে।

(গ) এই দ্বিতীয় তরঙ্গকে **গৌণ তরঙ্গ** (Secondary Wavelet) বলে। ইহাদের বেগ মূল তরঙ্গের বেগের সমান হয় যদি মাধ্যম একই থাকে। ***a*, *b*, *c*……**প্রভৃতি বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া ও সমান ব্যাসার্ধ লইয়া বর্তুল আঁকিলে সেই মুহূর্তের গৌণ তরঙ্গ এই বর্তুল গুলি দ্বারা প্রকাশিত হয়।

(ঘ) P′Q′ বর্তুল এই সকল গৌণ বর্তুলগুলিকে স্পর্শ করে। মুহূর্তের শেষে P′Q′ হইল নূতন তরঙ্গ-মুখ।

(ঙ) P′Q′ বর্তুলের বাহিরে গৌণ তরঙ্গের যে অংশ থাকে তাহারা পরস্পর কাটাকুটি করে সুতরাং যে কোন বিন্দুতে মূল তরঙ্গের ফল ও গৌণ তরঙ্গগুলির ফল-সমষ্টি সমান হয়। অতএব যে কোন বিন্দুতে তরঙ্গ-মুখের উপর অভিলম্ব অভিমুখে তরঙ্গ-মুখ গমন করে।

১৭০। **আলোক তরঙ্গের সরল গতি**ঃ যখন আলোক তরঙ্গ কোন ক্ষুদ্র অস্বচ্ছ দ্রব্যের উপর পড়ে তখন আলোক তরঙ্গ দ্রব্যের প্রান্তের (edge or corner) উপর দিয়া একটু বাঁকিয়া যায়। সেইজন্য দ্রব্যের জ্যামিতিক ছায়ার মধ্যে আলো ও ছায়ার সঙ্গমস্থলের কাছাকাছি একটু আলোক এবং কতকগুলি কাল ও উজ্জ্বল রেখা দেখা যায়। এই ঘটনাকে **অববর্তন** (Diffraction) বলে। সুতরাং আলোক ঠিক সরল রেখায় গমন করে না। তবে সাধারণ উদ্দেশ্যে আমরা আলোকের সরল রেখা ক্রমে গতি ধরিয়া লইতে পারি।

১৭১। **তরঙ্গবাদ অনুসারে প্রতিফলনের ব্যাখ্যা** (Wave Theory and Reflection)ঃ এইখানে আমরা কেবল সমতল তলে (plane surface) সমতল তরঙ্গের (plane wave) প্রতিফলনের বিষয় আলোচনা করিব।

অঙ্কন (Construction)ঃ মনে কর RI প্রতিফলন তল এবং AF সমতল তরঙ্গ মুখ EA অভিমুখে যাইয়া কোন মুহূর্তে RI তলের A বিন্দুতে

১৩৯নং চিত্র

আপতিত হয়। সেই মুহূর্তে তরঙ্গ-মুখের F বিন্দু FC অভিমুখে চলিতে থাকে। হাইজিনের নীতি অনুসারে AF তরঙ্গ মুখের প্রত্যেক বিন্দু যখন প্রতিফলন তল স্পর্শ

করে সেই স্পর্শ-বিন্দুতে অবস্থিত ইথার কণা আলোড়নের কেন্দ্র হয় এবং তথা হইতে গৌণ তরঙ্গ মূল তরঙ্গের সমবেগে একই মাধ্যমে চতুর্দিকে ছড়াইয়া পড়ে। মনে কর মূল তরঙ্গের বেগ $= v$. মনে কর A বিন্দু প্রতিফলন তলকে স্পর্শ করিবার t সময় পরে F বিন্দু C বিন্দুকে স্পর্শ করে $\therefore$ $FC = vt$. এই t সময়ে A হইতে গৌণ তরঙ্গ AB দূরত্ব যাইবে। $\therefore$ $AB = vt$. Aকে কেন্দ্র করিয়া AB ব্যাসার্ধ লইয়া বৃত্ত টান। Cর মধ্য দিয়া এই বৃত্তকে স্পর্শক-ভাবে (tangentially) স্পর্শ করিয়া এমনভাবে একটি তল CB টান যাহাতে এই তলটি কাগজের তলের উপর সমকোণে অবস্থিত হয়। এখন দেখান হইবে যে CB প্রতিফলিত তরঙ্গ মুখ এবং ইহা AB অভিমুখে চলিতে থাকে।

প্রমাণঃ (ক) **প্রতিফলনের প্রথম নিয়মঃ** AFC ও ABC ত্রিভুজদ্বয়ে, $AB = FC = vt$, AC সাধারণ বাহু, $\angle AFC = 90° = \angle ABC$ (কারণ তরঙ্গ-মুখ AF ও CB যথাক্রমে তরঙ্গের অভিমুখ FC ও AB উপর লম্বভাবে চলে) $\therefore$ ত্রিভুজদ্বয় সর্বতোভাবে সমান। $\therefore$ $\angle FAC = \angle BCA$.........(ক)

এখন EA রেখা তরঙ্গমুখ AFর উপর অভিলম্ব সুতরাং EA রেখাকে একটি আপতিত রশ্মি ধরা যাইতে পারে। সেইরূপ AB রেখাকে একটি প্রতিফলিত রশ্মি ধরা যাইতে পারে। RIএর উপর NA ও N'C লম্ব টান। AN রেখা AC তলের উপর এবং AB রেখা CB তলের উপর অভিলম্ব।

$$\therefore \quad \angle ACB = \angle NAB.$$

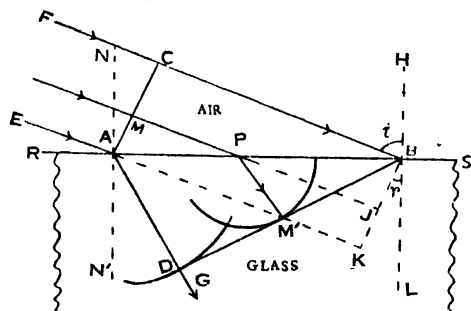
যেহেতু AN ও EA যথাক্রমে AC ও AFর উপর অভিলম্ব

$$\therefore \quad \angle CAF = \angle NAE$$

(ক) হইতে আপতন কোণ $\angle NAE = \angle ACB =$ প্রতিফলন কোণ $\angle NAB$

(খ) **প্রতিফলনের দ্বিতীয় নিয়মঃ** আপতিত রশ্মি EA ও প্রতিফলিত রশ্মি AB ও অভিলম্ব AN একই তলে আছে। ইহাও প্রমাণ করা যায় আপতিত তরঙ্গ-মুখ AF এর উপর অবস্থিত যে কোন বিন্দু Pএর আনুসঙ্গিক বিন্দু S প্রতিফলিত তরঙ্গ-মুখের উপর অবস্থিত হয়।

১৭২। তরঙ্গবাদ অনুসারে প্রতিসরণের ব্যাখ্যা ঃ—

অঙ্কন ঃ মনে কর RS একটি সমতল তলের ছেদ, RS এর উপরে বায়ু মাধ্যম, নীচে কাচ মাধ্যম অবস্থিত। মনে কর AC সমতল তরঙ্গ-মুখ (plane wave front) বায়ু মাধ্যমে FC অভিমুখে v বেগে চলিতেছে। হাইজিনের নীতি অনুসারে যখন AC তরঙ্গ-মুখ তির্যকভাবে A বিন্দুতে RS তলকে স্পর্শ করে তখন A বিন্দুস্থিত ইথার কণা হইতে গৌণ তরঙ্গ v' বেগে কাচ মাধ্যমে ছড়াইয়া পড়ে। মনে কর t সময়ে C বিন্দু Bতে পৌছায় এবং এই t সময়েই গৌণ তরঙ্গ কাচ মাধ্যমে AD দূরত্ব যায়। Aকে কেন্দ্র করিয়া ও AD $(=v't)$ ব্যাসার্ধ লইয়া বৃত্ত অঙ্কিত কর। B হইতে একটি

১৫০নং চিত্র

তল BG এই বৃত্তকে স্পর্শকভাবে স্পর্শ করিয়া টান যাহাতে এই তল কাগজের তলের উপর অভিলম্ব হয়। এখন BD হইল প্রতিসৃত তরঙ্গ-মুখ। ইহা AG অভিমুখে চলে। এখানে BD তরঙ্গ-মুখের উপর AG লম্ব (কারণ AG = ব্যাসার্ধ)

সুতরাং AGকে প্রতিসৃত রশ্মি ধরা যাইতে পারে। সেইরূপ EAকে আপতিত রশ্মি ধরা যাইতে পারে। NAকে RSএর উপর লম্ব টান।

প্রমাণ ঃ ACর উপর EA লম্ব এবং ABর উপর NA লম্ব $\therefore \angle EAN = \angle CAB$; সেইরূপ AN′ ও AD যথাক্রমে AB ও DB উপর লম্ব $\therefore \angle DAN' = \angle ABD$.

মনে কর আপতন কোণ $\angle EAN = i$ ও প্রতিসরণ কোণ $\angle DAN' = r$.

$$\therefore \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \angle ENA}{\sin \angle DAN'} = \frac{\sin \angle CAB}{\sin \angle ABD} = \frac{BC}{AB} \div \frac{AD}{AB}$$

$$=\frac{BC}{AD}=\frac{vt}{v't}=\frac{\text{বায়ুতে আলোকের বেগ}}{\text{কাচেতে আলোকের বেগ}}=\text{ধ্রুবক (constant)}={}_{\text{বায়ু}}\mu_{\text{ কাচ}}\cdots(\text{ক})$$

অর্থাৎ আপতন কোণের sineএর ও প্রতিসরণ কোণের sineএর অনুপাত ধ্রুবক। ইহাই প্রথম নিয়ম। এই ধ্রুবককে প্রতিসরাঙ্ক বলে।

(খ) **দ্বিতীয় নিয়ম ঃ** আপতিত রশ্মি EA ও প্রতিসৃত রশ্মি AD ও অভিলম্ব AN ও AN′ সবই কাগজের তলে থাকে।

১৭৩। **প্রতিসরাঙ্ক ও আলোকের বেগ ঃ** (ক) হইতে আমরা পাই ${}_{\text{বায়ু}}\mu_{\text{ কাচ}}=\frac{v}{v'}=\frac{\text{বায়ুতে আলোকের বেগ}}{\text{কাচে আলোকের বেগ}}$। যেহেতু লঘুতর মাধ্যম হইতে ঘনতর মাধ্যমে আলোক তরঙ্গ যাইলে উহা অভিলম্বের দিকে বাঁকিয়া যায় ∴ ${}_{\text{বায়ু}}\mu_{\text{ কাচ}} >$। অর্থাৎ আলোকের বেগ ঘনতর মাধ্যমে কম হয়। ইহা তরঙ্গবাদের পক্ষে অখণ্ডনীয় যুক্তি।

প্রশ্ন

1. Describe Romer's method of determining the velocity of light. What is its value ? What is the velocity of light in vacuum ?
(C. U. 1932, '36, '39, '44, Pat. '32)

2. Does the velocity of light depend upon the nature of the medium ? Do you know of any optical property of a medium to which the velocity of light can be related ? (Pat. 1934)

3. Give reasons for the statement that light travels in straight lines with a finite velocity.

4. Show how the laws of reflection and refraction of a parallel pencil of light at a plane surface may be deduced from the wave theory. (C. U. 1935).

5. **Explain how the refraction of light is accounted for on the wave theory and point out the physical significance of the refractive index of light. (C. U. 1945)**

আলোক সম্পর্কীয় সমীকরণ

(১) $I = \frac{Q}{A}$

(২) $I = \frac{P}{r^2}$

(৩) $\frac{P_1}{P_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$

(৪) $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{2}{r} = \frac{1}{f}$

(৫) $m = -\frac{v}{u}$

(৬) $\mu = \frac{\text{Sin } i}{\text{Sin } r}$

(৭) $\mu = \frac{\text{Sin } \frac{A + D_m}{2}}{\text{Sin } \frac{A}{2}}$

(৮) $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

(৯) $m = \frac{v}{u}$

(১০) $\frac{\mu}{v} - \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{\gamma_1}$

(১১) $\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$

(১২) $\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{f_2}$

(১৩) $m = 1 + \frac{D}{f}.$

তৃতীয় খণ্ড সমাপ্ত

চতুর্থ খণ্ড

শব্দ-বিদ্যা বা স্বন্-বিদ্যা

(Sound or Acoustics)

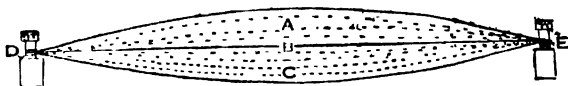
শব্দের উৎপত্তি (Production) ও মাধ্যম (Medium)

১। **শব্দ শক্তি:** যে শক্তি আমাদের কর্ণের অনুভূতিকে (sensation) জাগ্রত করে তাহাকে শব্দ বলে। এই অনুভূতি আমরা কর্ণদ্বারা গ্রহণ করিয়া মস্তিষ্কে পাঠাই। এই শ্রবণানুভূতির বাহ্যিক কারণ হইল শব্দ শক্তি।

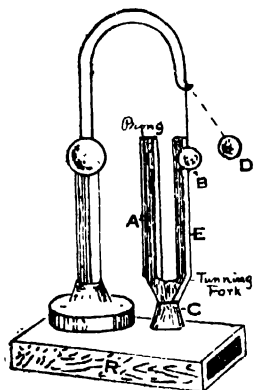
২। **শব্দ-বিদ্যার ইতিহাস**—শব্দ-বিদ্যার সঙ্গে মানবজাতি বহুদিন হইতে পরিচিত। বাঁশী, ঢোল, ঢাক প্রভৃতি সঙ্গীত যন্ত্রের সুমধুর শব্দ মানব-মনকে বহুযুগ হইতে আকৃষ্ট করিয়া আসিয়াছে। প্রত্যেক দেশেই সঙ্গীত চর্চ্চা খুব উচ্চ স্থান অধিকার করে। সঙ্গীত বিদ্যা শব্দ-বিদ্যার একটি অঙ্গবিশেষ। কিন্তু বৈজ্ঞানিক ভাবে শব্দ-বিদ্যার চর্চ্চা খুব বেশীদিন আরম্ভ হয় নাই। মনে হয় পীথাগোরাস (Pythagorus) প্রথম শব্দবিদ্যা বৈজ্ঞানিক ভাবে চর্চ্চা করেন। তিনি প্রথমে তারের যন্ত্রের (stringed instrument) স্পন্দনের নিয়ম আবিষ্কার করেন। তিনিই প্রথমে ঘোষণা করেন যে শব্দ শক্তি বায়ুতে এক প্রকার তরঙ্গ বিশেষ। ইহা আমাদের কর্ণপটাহে আঘাত করিয়া শ্রবণানুভূতি জাগায়। নিউটন (১৬৪২-১৭২৭) প্রথম শব্দ তরঙ্গের গতির কৌশল (mechanism) সম্বন্ধে ব্যাখ্যা করেন।

৩। **শব্দের উৎপত্তি** (Production of Sound) **:** স্বনকের (source of sound) দ্রুত কম্পন (vibration) হইতে কর্কশ বা মিষ্ট সব রকম শব্দের উৎপত্তি হয়। (শব্দের উৎপত্তি স্থলকে স্বনক বলে।)। যখনই আমরা কোন শব্দ শুনি তখন অনুসন্ধান করিলে দেখিব যে শব্দের উৎপত্তি স্থলে কোন বস্তু কাঁপিতেছে। এই কম্পন আমরা অনেক সময় স্বনক স্পর্শ করিলে বুঝিতে পারি কিংবা চোখে দেখিতে পারি। কাঁসার দ্রব্যে আঘাত করিলে কাঁসার দ্রব্য

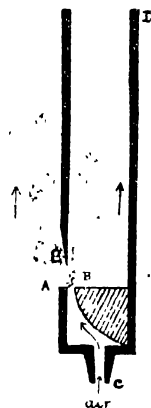
কাঁপিতে থাকে, শব্দ বাহির হয়। কম্পমান কাঁসার দ্রব্যে হাত দিলে কম্পনও বন্ধ হয়, শব্দও থামিয়া যায়। তার যন্ত্রে (যেমন বেহালা, এসরাজ) তারকে কাঁপাইলে তারের কম্পন হইতে শ্রুতি মধুর শব্দ উৎপন্ন হয়। কাঠির আঘাতে ঢাকের চামড়ায় আঘাত করিলে চামড়ার কম্পন হইতে বাজনা নির্গত হয়।

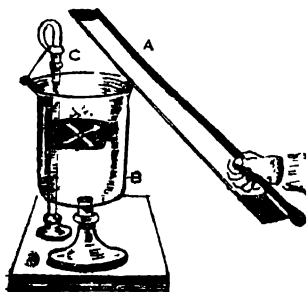
পরীক্ষা ঃ (ক) **তার যন্ত্রের কম্পন ঃ** দুইটি দণ্ড E ও D তে একটি তার সটান করিয়া (tightly) বাঁধ। তারের মাঝখান B বিন্দুকে টানিয়া ছাড়িয়া দাও। তার A ও C বিন্দু পর্যন্ত কাঁপিতে থাকে, তারকে অস্পষ্ট দেখা

১নং চিত্র

যায় এবং শব্দ বাহির হয়। তারের মাঝখানে এক টুক্‌রা V আকারের কাগজ রাখিলে তারের কম্পনে উহা দূরে নিক্ষিপ্ত হয়।

(খ) **Tuning Fork এর কম্পন ঃ** ইহা একটি A, E দুই বাহু (prong) বিশিষ্ট ও C হাতল বিশিষ্ট U আকারের স্থিতিস্থাপক ইস্পাতের শক্ত দণ্ড। কাপড় জড়ান হাতুড়ি (padded hammer) দিয়া বাহুকে আঘাত কর। বাহুদ্বয় কাঁপিতে থাকে এবং অস্পষ্ট ভাবে দেখা যায়। বাহুর কম্পন হইতে সুমিষ্ট শব্দ বাহির হয়। একটি লম্বমান শোলার B বলকে (pithball). কম্পমান বাহুর গায়ে লাগাও উহা অনবরত পার্শ্বে D অবস্থানে সরিয়া যায়। কম্পমান বাহুতে হাত দাও, কম্পন ও শব্দ দুইই বন্ধ হয়।

২নং চিত্র

(গ) **নলাকৃতি যন্ত্রের কম্পন** (Piped Instrument)**ঃ** বাঁশী,

Piccolo প্রভৃতি যন্ত্র ইহার অন্তর্গত। ইহারা সাধারণতঃ একটি ফাঁপা নল CD। C মুখ খুব সূচাল, D মুখ খুব চওড়া। D মুখ বন্ধ বা খোলা হইতে পারে। C মুখের কাছে সরু ও চওড়া অংশের সংযোগস্থলে প্রিজমের আকারের একটা পর্দা (partition) B থাকে, পর্দার পাশেই A সরু ছিদ্র থাকে। A ছিদ্রের কাছে নলের E অংশ একটু সূচাল থাকে। C মুখে ফুঁ দিয়া নলে বাতাস ঢোকাও; নলের ভিতর বাতাস কাঁপিতে থাকে। বাতাসের কম্পন হইতে নলে সুমিষ্ট শব্দ উৎপন্ন হয়। বালিপূর্ণ একটি ছোট ডিস D মুখ দিয়া নলের মধ্যে নামাও; দেখ বালিকণা বাতাসের কম্পনে নাচিতে থাকে।

৩নং চিত্র

(ঘ) **পত্রীক যন্ত্রের কম্পন** (Vibration of Reed Instruments): হারমোনিয়ম, Clarionet প্রভৃতি এইরূপ পত্রীক যন্ত্র। এই সকল যন্ত্রে একটি ছিদ্র দিয়া একটি আয়তক্ষেত্রিক প্রকোষ্ঠে বায়ু ঢোকান হয়। ছিদ্রের মুখে একটি পাতলা ধাতব পাত থাকে। ইহাকে **পত্রীক** (reed) বলে। এই বায়ু পত্রীকে ধাক্কা দিয়া দ্রুত কাঁপাইতে থাকে। ইহাতে সুমিষ্ট স্বর বাহির হয়। পত্রীকে স্পর্শ করিলে কম্পন ও শব্দ দুইই বন্ধ হয়।

৪নং চিত্র

(ঙ) **জলপূর্ণ পাত্রের কম্পন:** একটি চওড়া ও লম্বা কাচপাত্র B তে জল ঢাল। একটি শোলার ছোট বল C দণ্ড হইতে এমনভাবে ঝুলাও যাহাতে বলটি পাত্রের কিনারা স্পর্শ করে। বেহালার ছড় A দিয়া পাত্রের কিনারা টান। পাত্রটি কাঁপিতে থাকে, বলটি নাচিতে থাকে এবং সুমিষ্ট শব্দ বাহির হয়। পাত্রের কম্পনে জলও কাঁপিতে থাকে এবং জলে ছোট ঢেউ দেখা যায়।

এই সকল পরীক্ষা হইতে ইহা নিঃসন্দেহে প্রমাণ হয় যে শব্দ উৎপন্নের জন্য কোন বস্তুকে কাঁপাইতে হইবেই।

এইবার আমরা নিম্নের পরীক্ষা দ্বারা দেখাইব যে বস্তুর এই কম্পন সাধারণতঃ **বায়ুর মধ্য** দিয়া প্রবাহিত হইয়া আমাদের কাণের পর্দায় (ear-drum) দ্রুত কম্পন উৎপন্ন করে এবং পর্দার এই কম্পন মস্তিষ্কে পৌঁছায় তবে আমরা শব্দানুভূতি পাই। মনে রাখিবে কম্পনের এক সেকেণ্ডে স্পন্দন সংখ্যা (frequency) যদি ৩০ হইতে ৪০,০০০ মধ্যে হয় তবেই আমরা শব্দ শুনিতে পাই।

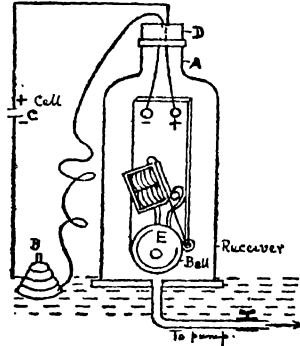
৪। **শব্দ মাধ্যম** (Sound Medium): উৎপত্তি স্থল হইতে শব্দ একটি বাস্তব (material) মাধ্যমের মধ্য দিয়া বিস্তৃত হইয়া আমাদের কাণে পৌঁছায়। এই বাস্তব মাধ্যম কঠিন, তরল কিংবা গ্যাস হইতে পারে। বড় টেবিলের এক ধারে ঘড়ি রাখিয়া অপর ধারে কাণ রাখিলে আমরা ঘড়ির টিক্ টিক্ শব্দ শুনিতে পাই। রেলের লাইনের উপর কাণ রাখিলে বহু দূরের ট্রেণের গতির শব্দ শোনা যায়। পুকুরের জলের মধ্যে এক কোণে হাততালি দিলে পুকুরের জলের অপর কোণ হইতে হাততালির শব্দ শোনা যায়।

তবে বায়ু হইল শব্দ শক্তি বিস্তারের সাধারণ মাধ্যম। আলোক ও শব্দের বিস্তারের একটি পার্থক্য এই যে আলোক বিস্তারের জন্য কোন বাস্তব মাধ্যম দরকার হয় না। ইহা শূন্যের মধ্য দিয়া যায়। শব্দশক্তি যে বায়ু মাধ্যম দিয়া যায়, শূন্য মাধ্যম দিয়া যায় না নিম্নলিখিত পরীক্ষা হইতে বোঝা যায়।

পরীক্ষা: বায়ু নিষ্কাশক যন্ত্রের কাচ প্রকোষ্ঠ (receiver) A এর মধ্যে একটি বৈদ্যুতিক ঘণ্টা E (electric bell) তার দিয়া দুইটি ঝুলাইয়া রাখা হইয়াছে। B বোতাম টিপিলে C তড়িৎ কোষ (cell) হইতে তারের মধ্য দিয়া বিদ্যুৎ আসিয়া ঘণ্টাকে বাজাইতে থাকে। D রবার ছিপি দিয়া A প্রকোষ্ঠের মুখ বন্ধ থাকে। যতক্ষণ প্রকোষ্ঠে বাতাস থাকে ততক্ষণ ঘণ্টার শব্দ শোনা যায়। বাতাস পাম্প দ্বারা যতই নিষ্কাশিত হইতে থাকে ততই শব্দ ক্ষীণতর হয়। প্রকোষ্ঠ প্রায় বায়ুশূন্য হইলে শব্দ প্রায় শ্রুতি গোচর হয় না যদিও ঘণ্টা

নড়িতে দেখা দেখা যায়। প্রকোষ্ঠে পুনরায় বায়ু ঢুকাইলে ঘণ্টার শব্দ আবার শোনা যায়। এই মাধ্যম **নিরবচ্ছিন্ন** ও **স্থিতিস্থাপক** হওয়া চাই। মাধ্যম স্থিতিস্থাপক না হইলে শব্দ শক্তি অল্প দূরে যাইয়াই তাপ শক্তিতে পরিণত হয়। তুলা, কাঠের গুড়া প্রভৃতি বস্তু শব্দরোধক হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

৫নং চিত্র

আমরা পরে দেখিব যে মাধ্যমের কণাগুলি এক স্থান হইতে অন্য স্থানে যায় না, কেবল ইহা এক বিন্দু হইতে অন্য বিন্দুতে শব্দ শক্তি চালিত করে। বন্দুক ছোড়া হইলে বারুদের ধোঁয়া বেশী দূর যায় না কিন্তু শব্দ অনেক দূর শোনা যায়।

সুতরাং শব্দ বিস্তারের জন্য তিনটি জিনিষ দরকার। যথা:—(ক) শব্দ উৎপন্নকারী কম্পমান দ্রব্য, (খ) নিরবচ্ছিন্ন স্থিতিস্থাপক বাস্তব মাধ্যম, (গ) কম্পমান গ্রাহক যথা কাণের পর্দা।

আমরা ১৫ অনুচ্ছেদে বায়ুর মধ্য দিয়া শব্দ তরঙ্গের গতির কৌশল আলোচনা করিব।

প্রশ্ন

1. Explain why a medium is necessary for the propagation of sound and describe any experiment to prove the statement. (C. U. 1934)

2. Describe experiments which prove that sound is due to vibrations. (Pat. 1921, '32, '33).

সরল সমঞ্জস গতি (Simple Harmonic Motion)

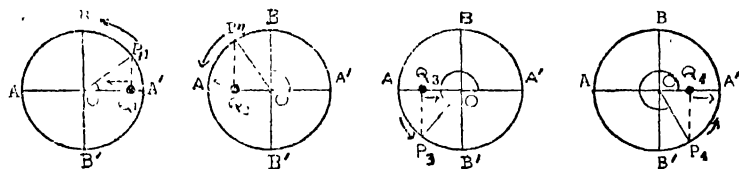
৫। **পর্যাবৃত্ত গতি** (Periodic Motion): যদি কোন বলের ক্রিয়ায় কোন গতিশীল বস্তু একই অবস্থানের মধ্য দিয়া পুনঃ পুনঃ যাতায়াত করে তবে এই গতিকে **কম্পন** (vibration) বলে। আবার যদি কোন কম্পমান বস্তু কোন বলের ক্রিয়ায় একই নির্দিষ্ট সময় অন্তর একই অবস্থানের মধ্য দিয়া

অতিক্রম করে তবে এই গতিকে **পর্যাবৃত্ত গতি** বলে। বৃত্তাকার সম গতি (uniform circular motion), পৃথিবীর সূর্যের চারিদিকে বার্ষিক গতি, দোলকের গতি-পর্য্যাবৃত্ত গতির উদাহরণ।

৬। সরল সমঞ্জস গতি (Simple Harmonic Motion. সাঙ্কেতিক *S. H M.*)ঃ সরল সমঞ্জস গতি. পর্যাবৃত্ত গতির একটি সরলতম উদাহরণ। আবার একটি সরল রেখা ক্রমে কোন কণার এদিক-ওদিক (to and fro) গতি সরল সমঞ্জস গতির সরলতম উদাহরণ।

মনে কর কোন বলের ক্রিয়ায় P কণা সমগতিতে A B A´B´ বৃত্ত বরাবর চলিতেছে। মনে কর P হইতে A A´ব্যাসের উপর P Q লম্ব টানা হইয়াছে। Q হইল লম্বের পাদবিন্দু। যেমন P কণা বৃত্ত বরাবর তীর অভিমুখে ঘুরিতে থাকে, লম্বের Q পাদবিন্দু A´ হইতে A অভিমুখে যায়। P কণা যখন Bতে পৌছায় তখন Q বিন্দু Oতে আসে। P যখন B হইতে A

৬নং চিত্র

অভিমুখে যায় তখন Q বিন্দু O হইতে A অভিমুখে যায়। P কণা Aতে পৌছাইলে Q বিন্দুও Aতে পৌছায়। P কণা A হইতে B′ অভিমুখে যাত্রা করিলে Q বিন্দুর গতির অভিমুখ বদলাইয়া যায়। P কণা A হইতে যেমন A′ অভিমুখে যায় তেমন Q বিন্দু A হইতে A′ অভিমুখে যায়। এইরূপে আমরা দেখিব যে P কণা যেমন বৃত্তের পরিধি বরাবর সম কৌণিক গতিতে ঘুরিতে থাকে, Q বিন্দু AA′ রেখা বরাবর এদিক-ওদিক ঘুরিতে থাকে। AA′

৭নং চিত্র

রেখা বরাবর Q বিন্দুর গতিকে সরল সমঞ্জস গতি বলে। O হইল Q বিন্দুর সাম্য বা স্থিতি অবস্থা। Q বিন্দুর উপর বলের অভিমুখ সর্বদা

নির্দিষ্ট O বিন্দুর দিকে থাকে। O বিন্দু হইতে যতই দূরত্ব বাড়ে ততই বলও বাড়ে অর্থাৎ O বিন্দু হইতে Q বিন্দুর A ও A'র দিকে বল বাড়িয়া যায়। P কণার বেগ সমান হয় কিন্তু Q বিন্দুর বেগ সমান হয় না। A বা A' বিন্দু হইতে O অভিমুখে যাইলে Qর বেগ বাড়িতে থাকে। আবার O বিন্দু হইতে A বা A' দিকে যাইলে বেগ কমিতে থাকে, A ও A' বিন্দুতে Q বিন্দুর বেগ থাকে না। AA'BB' বৃত্তকে circle of reference আর এই P কণাকে generating point বলে। ৭নং চিত্রে P_1, P_2, P_3, P_4 কণার পর পর অবস্থান এবং Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 আনুসঙ্গিক পাদবিন্দুর অবস্থান।

৭। **সরল সমঞ্জস গতির সমীকরণ ঃ (ক) পর্যায়কাল (Period) :** যে সময়ে P কণা A' হইতে আরম্ভ করিয়া বৃত্ত বরাবর একবার সম্পূর্ণ ঘুরিয়া পুনরায় A'তে পৌছায় ঠিক সেই সময়ে Q বিন্দু A' হইতে Aতে যায় এবং A হইতে পুনরায় A'তে আসে। এই একটি পূর্ণ আবর্তনের এই সময়কে **পর্যায়-কাল** বলে। ইহা T অক্ষর দিয়া প্রকাশ করা হয়। P ও Qর পর্যায়কাল সমান।

(খ) **কম্পনাঙ্ক** বা **স্পন্দন সংখ্যা** (Frequency) ঃ এক সেকেণ্ডে পূর্ণ আবর্তনের সংখ্যাকে **স্পন্দন সংখ্যা** বলে। P ও Qর স্পন্দন সংখ্যা সমান। মনে কর ইহা n

$$\therefore \quad nT = 1 \quad \therefore \quad n = \frac{1}{T}$$

যদি ω = Pএর কৌণিক বেগ হয় তবে $\omega = 2\pi n$.

(গ) **ত্বরণ ঃ** P হইতে AA' এর উপর লম্বের পাদবিন্দু হইল Q $\therefore$ Qএর ত্বরণ ও বেগ Pএর ত্বরণ ও বেগের AA' রেখার সমান্তরালে PQ' রেখা বরাবর বিশ্লিষ্ট অংশের সমান। (৬নং চিত্র)

প্রথম খণ্ড ৩৫পৃঃ ৩৫ অনুচ্ছেদে আমরা দেখিয়াছি যে বৃত্তপথে সমদ্রুতিতে ঘোরার সময় P বিন্দুর ত্বরণ $= \frac{v^2}{a}$ (a = OP = ব্যাসার্ধ, v = Pএর সমদ্রুতি (speed)। এই ত্বরণ O কেন্দ্রের অভিমুখী হয়। আমরা জানি $v = a \times \omega$ $\therefore$ Pএর ত্বরণ $= a\omega^2$ সুতরাং Qএর O অভিমুখী ত্বরণ $f = a\omega^2$ ত্বরণের PQ' বরাবর উপাদান $= a\omega^2 \cos\theta = \omega^2$OQ। এখানে OQ = সরণ = x

আবার ω^2 = ধ্রুবক ∴ $\frac{f}{x} = \omega^2$ or $f \propto x$ অর্থাৎ যখন কোন বিন্দু সরল সমঞ্জস গতি সম্পন্ন হয় তখন তাহার ত্বরণ ও সরণ সমানুপাতিক হয়।

কোন কণার ভর m = ধ্রুবক। আমরা জানি বল = $m \times f$ ∴ বল ∝ সরণ।

(ঘ) **বেগ ঃ** Pএর কৌণিক বেগ = ω ∴ রৈখিক বেগ $v = a\omega$.

∴ Qএর বেগ = Pএর বেগের PQ′ বরাবর বিশ্লিষ্ট অংশ

∴ Qএর বেগ $V = a\omega \cos PTO = a\omega \sin \theta = \omega . PQ$

$$= \omega \sqrt{a^2 - x^2}$$

A′ বিন্দুতে $\theta = 0°$ ∴ A′ বিন্দুতে $V = 0$

A বিন্দুতে $\theta = 180°$ ∴ A বিন্দুতে $V = 0$

B ও B′ বিন্দুতে $\theta = 90°$ ও $270°$ ∴ O বিন্দুতে Vএর মান সর্বোচ্চ হয়। অর্থাৎ Qএর দোলনের শেষ বিন্দু A ও A′তে Q বেগ-শূন্য হয়। মধ্যক বিন্দু Oতে V বেশী হয়।

(ঙ) **পর্যায়কাল T ঃ** একটি সম্পূর্ণ দোলনের সময়কে পর্যায়কাল বলে। A হইতে P বিন্দুতে গমনের সময় = $\frac{\theta}{\omega} = \frac{1}{\omega} \cos^{-1}\left(\frac{x}{a}\right)$

সুতরাং A′ হইতে A গমনের সময় = $\frac{1}{\omega} \cos^{-1}(-1) = \frac{\pi}{\omega}$

∴ A′ হইতে A এবং A হইতে A′তে আসার সময় = T $\frac{2\pi}{\omega}$

কিন্তু $\frac{f}{x} = \omega^2$ ∴ $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{x}{f}} = 2\pi \sqrt{\frac{\text{Q এর সরণ}}{\text{Q এর ত্বরণ}}}$।

(চ) **বিস্তার ঃ** মধ্যক অবস্থান হইতে দুইপাশে সর্বোচ্চ দূরত্বকে **বিস্তার** বলে।

Qএর বিস্তার = OA বা OA′ = a.

(ছ) Qএর গতি সম্বন্ধীয় সারণী (table) :—

Q বিন্দুর অবস্থান	সরণ	বেগ	ত্বরণ
O বিন্দুতে	O (লঘিষ্ঠ)	ωa (গরিষ্ঠ)	$f=0$
A, A′ বিন্দুতে	$x=a$ কিম্বা $-a$	O (লঘিষ্ঠ)	$f=\omega^2 a$ (গরিষ্ঠ
Q বিন্দুতে	$x=a\cos\theta$	$\omega a \sin 0$	$f=\omega^2 a \cos\theta$

(জ) **সরণ ও সময়ের ছক** (Time and Displacement Curve) ৮নং চিত্রের দুই লেখ দ্বারা Q বিন্দুর সরণ বর্ণিত হইল :—

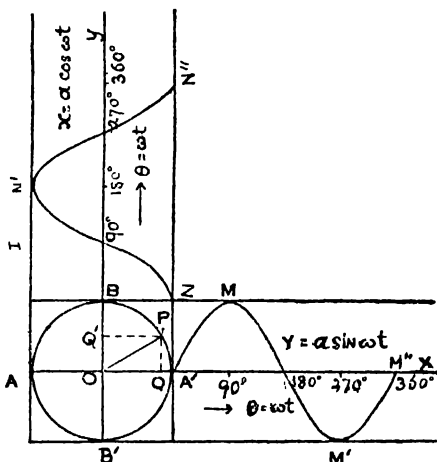
(i) $x=a \cos \omega t$, (ii) $y=\sin \omega t$। মনে কর A′ হইতে P বিন্দু যাইতে কণার সময় t সেকেণ্ড লাগে।

Q এর সরণ $x=a\cos \omega t=a \cos \frac{2\pi t}{T}=a \cos 2\pi nt.$

৭নং চিত্র

যখন $\theta=O$ হয়, তখন বিস্তার a ও সরণ সমান হয়। $\angle\theta$ কোণ যত বাড়িতে থাকে সরণ তত কমিতে থাকে।

যখন $\theta=\pi/2$ হয় তখন সরণ $=O$ হয়। এইরূপে $\theta=\pi$, সরণ $=-a$; $\theta=\frac{3\pi}{2}$, সরণ $=O$; $\theta=2\pi$, সরণ $=a.$

এইরূপে সরণ আবার অপর axisএ আঁকা চলে।

I নং ছক Qএর সরণ অর্থাৎ O হইতে Qএর বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন দূরত্ব প্রকাশ করে।

II নং ছক বিভিন্ন সময়ে P বিন্দুর বৃত্তের পরিধির উপর বিভিন্ন অবস্থান হইতে অঙ্কিত লম্বের বিভিন্ন দৈর্ঘ অর্থাৎ PQর বিভিন্ন দৈর্ঘ প্রকাশ করে।

(ঝ) দশা (Phase) **:** 'দশা কম্পমান বস্তুর যে কোন মূহুর্তে একটি প্রমাণ **অবস্থান** (standard state) হইতে সরণ ও বেগ নির্ণয় করে। সাধারণতঃ কম্পমান বস্তুর মধ্যক বিন্দুতে অবস্থানকে **প্রমাণ অবস্থান** ধরা হয়। একটি কম্পমান বস্তুর পর্যায়কালের ভিন্ন ভিন্ন সময়ে বেগ ও অবস্থান ভিন্ন ভিন্ন হইয়া থাকে। এক পর্যায়কাল বাদে কম্পমান বস্তুর বেগ ও অবস্থান পূর্বাবস্থায় ফিরিয়া আসে। যখন দুইটি কণিকা ঠিক একই ভাবে দোলে অর্থাৎ মধ্যক অবস্থা হইতে সমদূরত্বে ও একই অভিমুখে থাকে তখন তাহাদের এক দশা হয়। দশা দুই প্রকারে প্রকাশ করা হয়। যথা—

(ক) **পর্যায়কালের ভগ্নাংশ দ্বারা :** মধ্যক বিন্দু O হইতে নির্দিষ্ট অভিমুখে পর্যায়কাল গণনা করিলে O হইতে OA′ অভিমুখে A′ বিন্দুতে Q বিন্দুর দশা হইবে $\frac{T}{4}$ এবং A বিন্দুতে দশা হইবে $\frac{3}{4}T$.

(খ) P কণা দ্বারা অঙ্কিত কোণ দ্বারা : অতএব কম্পমান Q বিন্দুর দশা P কণার দ্বারা অঙ্কিত কোণ θ দ্বারা প্রকাশিত হয়। কণিকার গতি পথে যাত্রার মুহূর্তের দশাকে **ইপক** (Epoch) বলে।

৮। **সরল সমঞ্জস গতির বিশেষত্ব।** (ক) কণিকার গতি পর্যাবৃত্ত হইবে। (খ) কণিকার গতি সরল রেখা ক্রমে এদিক-ওদিক (to and fro) হইবে। (গ) কণিকার সরণ একটি নির্দিষ্ট মধ্যক অবস্থিতি (mean position) Oর অভিমুখে হইবে। (ঘ) বলের তথা ত্বরণের পরিমাণ মধ্যক অবস্থিতি হইতে কণিকার সরণের সমানুপাতিক হইবে।

৯। **সরল সমঞ্জস গতির উদাহরণ :** Tuning fork এর দুই বাহুর এদিক-ওদিক গতি দোলকের গতি, সরল সমঞ্জস গতির উদাহরণ। দোলকের গতি যে সরল সমঞ্জস গতি তাহা প্রথম খণ্ডে ৮৪ পৃষ্ঠায় ৯৮ অনুচ্ছেদে প্রমাণ করা হইয়াছে।

প্রশ্ন

1. Define simple Harmonic motion and explain it with refer-rence to any familiar example. (C. U. 1931, '35. A. U. '16.)

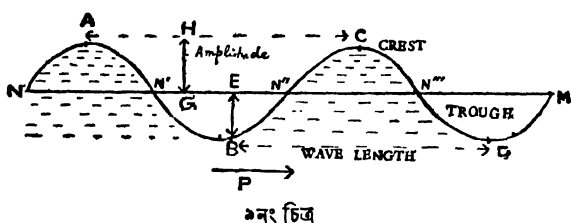
2. Define angular velocity of a particle moving uniformly in a circle. Find its period of time. Show that the foot of the perpendicular drawn from the body to a fixed diameter of the circle. Describe S. H. M. and hence define such a motion. (C. U. 1933.)

তরঙ্গ গতি (Wave Motion)

১০। **কম্পন ও তরঙ্গ** (Vibration and Wave) : কোন স্থিতিস্থাপক নিরবচ্ছিন্ন মাধ্যমের কোন কণিকাকে স্থির অবস্থান হইতে একটু স্থানচ্যুত করিয়া ছাড়িয়া দিলে ইহা স্থিতিস্থাপকতা ও জাড্য গুণের সম্মিলিত প্রভাবে পূর্বাবস্থায় ফিরিয়া আসিবার প্রচেষ্টায় কম্পমান হয়। এই কণিকা অন্য সকল কণিকার সঙ্গে আকর্ষণ বলের দ্বারা আবদ্ধ থাকে। কাজেই এই স্থানভ্রষ্ট কণিকাটি পার্শ্ববর্তি কণিকাগুলিকেও স্থানভ্রষ্ট করে। এইরূপে মাধ্যমের যে কোন স্থানের আলোড়ন **(disturbance)** অন্যত্র প্রসারলাভ করে। একটি কণিকা গতি সম্পন্ন হইলে পার্শ্ববর্তি কণিকাগুলিও ঠিক সেইরূপ গতিসম্পন্ন হয়। এক কণিকা হইতে অপর কণিকায় গতি স্থানান্তরের কৌশলকে **তরঙ্গগতি** (Wave Motion) বলে। ইহাতে কণিকাগুলি স্থানান্তরিত হয় না। ইহারা মধ্যক অবস্থানের দুই দিকে সমানভাবে একটু আলোড়িত হয়।

১১। **তরঙ্গের প্রকার ভেদ** : তরঙ্গগতি দুই প্রকারের যথা :—

(ক) **তির্যক কম্পন ও তরঙ্গ** (Transverse vibration and wave) : যখন সরল সমঞ্জস গতিসম্পন্ন কোন কণিকা তরঙ্গগতির অভিমুখের সহিত **সমকোণে** দুই পার্শ্বে সমান দূরত্বে কম্পিত হয় তখন কণিকার কম্পনকে **তির্যক কম্পন** বলে। এই প্রকারে উদ্ভূত তরঙ্গকে **তির্যক তরঙ্গ** বলে। স্থির জলে ঢিল ফেলিলে যে ক্রমবর্ধমান তরঙ্গের উৎপত্তি হয় সেই তরঙ্গ তির্যক তরঙ্গের উৎকৃষ্ট উদাহরণ। জলের কণিকাগুলি জলপৃষ্ঠের সহিত সমকোণে উঠানামা করে।

মনে কর ACBD এইরূপ একটি তরঙ্গ। সর্বউর্ধে উত্থিত A বিন্দু ও C বিন্দুকে **তরঙ্গশীর্ষ** (crest) বলে। আর সর্ব নিম্নে পতিত B ও D বিন্দুকে **তরঙ্গপাদ** (trough) বলে। তরঙ্গ সমূহ আকারে (form) অপরিবর্তিত থাকিয়া জলপৃষ্ঠে NM অভিমুখে সমবেগে অগ্রসর হয়। জলের উপর যদি কয়েকখণ্ড শোলা বা কাগজের টুক্‌রা রাখা যায় তবে দেখা যাইবে জলকণিকার সহিত কাগজ বা সোলার টুক্‌রা একস্থানে থাকিয়া কেবল ওঠানামা করে কিন্তু তরঙ্গের সহিত ইহারা চলিয়া যায় না। আর একটি বিষয় লক্ষ্য করিবে কাগজের টুকরাগুলি একসঙ্গে ওঠানামা করে না, পর পর করে। তরঙ্গের আকারই জলের উপর দিয়া

৯নং চিত্র

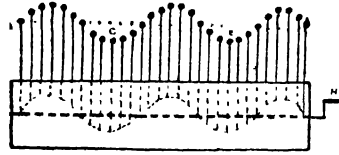
চলিয়া যায়, কাগজের টুকরার ন্যায় জল কণাগুলি কেবল একস্থানে থাকিয়া সাম্য অবস্থিতি হইতে উপরে ওঠে ও নীচে নামে। ধানের ক্ষেতের উপর দিয়া যখন ঢেউ খেলিয়া যায় তখন কেবল ঢেউ চলিয়া যায়, ধানের শীষগুলি আগাইয়া যায় না। এইরূপ জলতরঙ্গ একপ্রকার **চলতরঙ্গ** (progressive wave)। যে সময়ে তরঙ্গশীর্ষ A বিন্দু হইতে শীর্ষ C বিন্দুতে কিংবা পাদ B বিন্দু হইতে পাদ D বিন্দুতে যায় সেই সময় কাগজের টুক্‌রা একবার উপরে ওঠে ও একবার নীচে নামে। কম্পমান কণিকার একটি সম্পূর্ণ দোলনকালে তরঙ্গ যে দূরত্বে যায় তাহাকে **তরঙ্গ দৈর্ঘ্য** বলে।

তির্যক তরঙ্গের বেলায় দুই তরঙ্গশীর্ষ A ও Cএর মধ্যের বা দুই তরঙ্গ পাদ B ও Dএর মধ্যের দূরত্বকে **তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য** বলে। ইহাকে λ চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়। একটি কণিকার একবার উপরে উঠিতে ও নীচে নামিতে যে সময় লাগে তাহাকে তরঙ্গের **পর্যায়কাল** (T) বলে। সুতরাং যদি কোন কণিকা এক সেকেণ্ডে n বার কম্পিত হয় তবে সেই কণিকা এক সেকেণ্ডে n

সংখ্যক ঢেউ তুলিবে। সুতরাং তরঙ্গের বেগ V=প্রতি সেকেণ্ডে $n\lambda$

$\therefore V=\frac{\lambda}{T}$। একই তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের ব্যবধানে অবস্থিত কণিকাগুলি একই দশাপ্রাপ্ত হয় অর্থাৎ ইহারা সমতালে কাঁপিয়া উঠে।

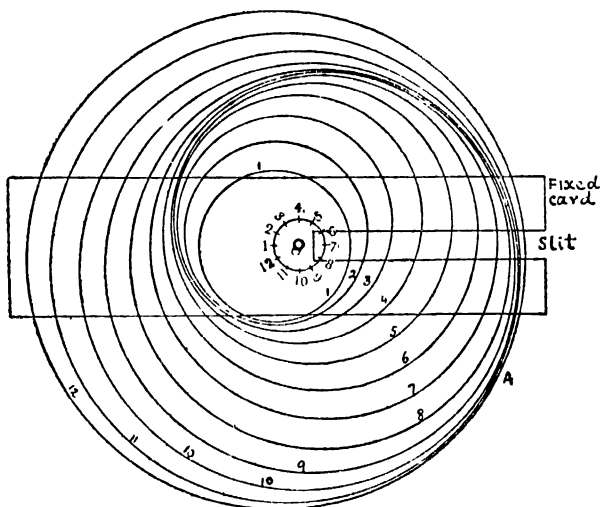
অন্যান্য দৃষ্টান্ত: (১) কোন অবলম্বন হইতে একগাছি সরুদড়ি ঝুলাইয়া দাও। দড়ির দৈর্ঘ্য বরাবর অবলম্বনকে যদি পর্যাবৃত্ত গতি দেওয়া যায় তবে দড়ির দৈর্ঘ্য বরাবর তির্যক তরঙ্গ দেখা যাইবে।

(২) ১০ চিত্রে তির্যক তরঙ্গ দেখাইবার একটি সুন্দর ব্যবস্থা দেওয়া হইল। কতকগুলি সরল ও সমান্তরাল ABCD ......প্রভৃতি দণ্ডের প্রত্যেকের মাথায় একটি বল আছে। এই দণ্ডগুলির নিম্নাংশ সমকেন্দ্রিক চাকার উপর স্থাপিত। সমস্ত চাকাগুলিকে একটি হাতল H দ্বারা ঘোরান হয়। হাতল অনবরতঃ ঘোরাইলে বলগুলির গতি একটি তির্যক তরঙ্গের আকারে দেখা যায়। B, D, F...তরঙ্গ শীর্ষ এবং A, C, E···তরঙ্গ পাদ।

১০নং চিত্র

সর্বপ্রকার তির্যক তরঙ্গের একটি বিশেষত্ব এই যে মাধ্যমেব প্রত্যেক কণা পর্যাবৃত্ত গতি সম্পন্ন হয় কিন্তু তরঙ্গের আকার সরলরেখা ক্রমে সমগতিতে চলিয়া যায়। অতএব মাধ্যমের এক অংশ হইতে অপর অংশে নিরবচ্ছিন্ন গতি পৌঁছায়। আবার প্রত্যেক গতির সঙ্গে গতীয় (kinetic) শক্তি থাকে সুতরাং তরঙ্গ গতীয় শক্তি বহন করে। আমরা এইরূপে আলো ও তাপশক্তি পাই।

(খ) অণুদৈর্ঘ্য কম্পন ও তরঙ্গ (Longitudinal vibration and wave): যখন মাধ্যমের কণিকাগুলি তরঙ্গের গতির সহিত **সমান্তরালে** এদিক-ওদিক কম্পিত হয় তখন এই কম্পনকে **অনুদৈর্ঘ্য কম্পন** বলে এবং এইরূপ কম্পন হইতে উদ্ভূত তরঙ্গকে **অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ** বলে। নিম্নলিখিত **পরীক্ষা** হইতে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ বুঝা যায়—

(১) **ক্রোভার চাকতি** (Crova's Disc): একটি পিচবোর্ডের

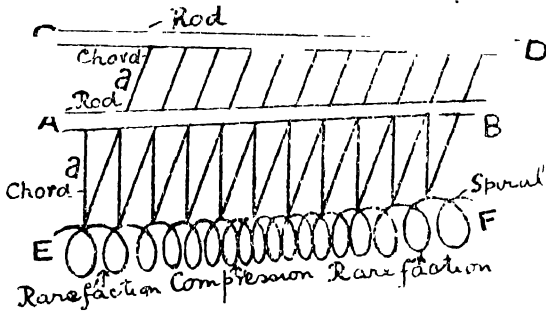
চাকতি A লও। ঐ পিচবোর্ডের মধ্যে O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া ও 2 c. m. ব্যাস লইয়া একটি বৃত্ত টান। ঐ বৃত্তটির পরিধি বরাবর সমদূরত্বে বারটি বিন্দু লও যেমন 1. 2. 3. 4.···। ইত্যাদি। 1কে কেন্দ্র করিয়া একটি ছোট বৃত্ত টান। এইরূপে 2 3 ··ইত্যাদিকে কেন্দ্র করিয়া আরও ১১টি বৃত্ত টান এবং প্রত্যেক

১১নং চিত্র

বৃত্তের ব্যাসার্ধ ½cm করিয়া বাড়াইয়া যাও। বৃত্তগুলিকে 1. 2. 3. ······ইত্যাদি চিহ্ন কর। চাকতিকে একটি ঘূর্ণায়মান টেবিলের উপর রাখ যাহাতে ক্ষুদ্রতম বৃত্তের কেন্দ্রের মধ্য দিয়া প্রবিষ্ট একটি দণ্ডের চারিধারে চাকতিটি ঘুরিতে পারে। একটি দীর্ঘ আয়তক্ষেত্রিক ছিদ্র (slit) বিশিষ্ট কাডবোর্ড চাকতিটির উপরে রাখ যাহাতে ছিদ্রের মধ্য দিয়া বৃত্তগুলির খুব অল্প অংশ দেখা যায়। এখন চাকতিকে জোরে ঘুরাইলে দেখা যাইবে একবার বৃত্তগুলি পরস্পর গায়ে গায়ে লাগিয়া যাইতেছে ও পরমুহূর্তেই দূরে দূরে চলিয়া যাইতেছে। ইহাতে মনে হয় যেন একটি অণুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ আগাইয়া যাইতেছে। বৃত্তগুলি যখন খুব কাছাকাছি হয় তখন যে তরঙ্গ হয় তাহাকে **সংনমন** বা **সংকোচন** (Compression) **তরঙ্গ** বলে।

আর যখন বৃত্তগুলি দূরে দূরে যায় তখন যে তরঙ্গ হয় তাহাকে **তণুভবন** (Rarefaction) **তরঙ্গ** বলে।

(২) N বাক্সের উপর কতকগুলি লম্বদণ্ড সমান্তরাল ভাবে সাজান আছে। প্রত্যেক দণ্ডের মাথায় একটি করিয়া বল আছে। H হাতল ঘুরাইলে দণ্ডগুলি একবার কাছে আসে ও পর মুহূর্তে দূরে দূরে চলিয়া যায়। যখন ইহারা কাছে আসে (যেমন A, C ও Eতে) তখন সঙ্কোচনের অবস্থা হয় যখন দণ্ডগুলি দূরে দূরে সরিয়া যায় (যেমন B ও Dতে) তখন তণুভবনের অবস্থা হয়।

১২নং চিত্র

(৩) **কুণ্ডলি স্প্রিং** (Spiral Spring): শব্দ তরঙ্গ প্রবাহিত হইবার সময় পর পর বায়ুস্তর কি করিয়া একবার কাছে আসে ও একবার দূরে সরিয়া যায় তাহা নিম্নলিখিত উদাহরণ হইতে বুঝা সহজ। ১ ইঞ্চি ব্যাসের একটি পিতলের তারকে ৩ ইঞ্চি ব্যাসের কতকগুলি সংলগ্ন কুণ্ডলিতে পরিণত কর। কুণ্ডলিটি

১৩নং চিত্র

প্রায় ৬·৭ ফুট লম্বা হইবে। এখন দুইটি সমান্তরাল দণ্ড AB ও CD হইতে *a* সূতা দ্বারা বাঁধিয়া কুণ্ডলি EFকে অনুভূমিক ভাবে ঝুলাইয়া রাখ। এখন E দিকে যদি কুণ্ডলিকে হঠাৎ অনুভূমিক ভাবে ভিতর দিকে **ধাক্কা দেওয়া** যায় (pushed) তবে E দিকের নিকটতম কুণ্ডলির পাকগুলি (turns) সংনমিত

(compressed) হয়। এই **সংনমন** তরঙ্গ নির্দিষ্ট বেগে কুণ্ডলির দৈর্ঘ্য বরাবর গমন করিয়া F প্রান্তে পৌছায় এবং কুণ্ডলির প্রত্যেক পাক সামান্য একটু F প্রান্তের দিকে আগাইয়া যায়। বাতাসের বায়ু কণাকে ধাক্কা দিলে এইরূপ সংনমন তরঙ্গ বায়ু মাধ্যম দিয়া অতিক্রম করে। সুতরাং প্রত্যেক বায়ুস্তর কুণ্ডলির এক একটি পাকের সঙ্গে তুলনা করা যাইতে পারে। যদি E প্রান্তের কুণ্ডলিকে হঠাৎ বাহিরের দিকে **টানা যায়** (pulled) পাকগুলি পরস্পর হইতে তফাৎ হইয়া যাইবে। এইরূপ তফাৎ হওয়াকে **তণুভবন** (rarefaction) বলে। এই তণুভবন তরঙ্গকে কুণ্ডলির দৈর্ঘ্য বরাবর অপর মুখে যাইতে দেখা যায়। প্রত্যেক পাক E প্রান্তের দিকে একটু পিছাইয়া আসে। বাতাসে এই রকম তণুভবন তরঙ্গ অতিক্রম করে। এইরূপে যদি কুণ্ডলির যে কোন প্রান্তকে পর্যায়ক্রমে একবার বাহিরে **টানা যায়** ও ভিতরে **ধাক্কা দেওয়া** যায় তবে এইরূপ অনুদৈর্ঘ্য **সংনমন** ও **তণুভবন** তরঙ্গ নির্দিষ্ট বেগে অপর প্রান্তে পৌছায়। লক্ষ্য রাখিবে যে কুণ্ডলির প্রত্যেক পাক স্থির অবস্থানের দুইধারে সমান দূরত্ব পর্যন্ত আলোড়িত হয় কিন্তু কোন পাকই স্বাভাবিক অবস্থা হইতে স্থানান্তরিত হয় না। এখানে **একটি সম্পূর্ণ তরঙ্গ =একটি সংনমন তরঙ্গ + একটি তণুভবন** তরঙ্গ। জলতরঙ্গের তরঙ্গপাদ ও তরঙ্গ শীর্ষ যথাক্রমে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের সংনমন ও তণুভবন অবস্থার সহিত তুলনা করা যাইতে পারে। এখানে মনে রাখিবে যে তরঙ্গের আকার (wave form) চলিয়া যায়, মাধ্যমের কণাগুলি চলে না।

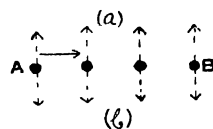
১২। **তরঙ্গ-মুখ** (Wave Front): যদি কোনও তরঙ্গের মধ্যে সমদশা প্রাপ্ত বিন্দু সকলকে একটি রেখা দ্বারা সংযুক্ত করা যায়, তবে ঐ রেখা হইবে **তরঙ্গ-মুখ**। যদি জলের উপর একই তরঙ্গের শীর্ষদেশে অবস্থিত সকল বিন্দু রেখার দ্বারা যুক্ত করা যায় কিংবা যদি একই তরঙ্গ পাদে অবস্থিত সকল বিন্দু সংযুক্ত করা যায় তাহা হইলে যে রেখা পাওয়া যাইবে তাহা তরঙ্গ-মুখ হইবে।

যদি কোন সমসত্ত্ব (Homogeneous) মাধ্যমের ভিতর দিয়া এক বিন্দু হইতে তরঙ্গ প্রবাহিত হয় তাহা হইলে যে কোন সময়ে ঐ বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া যদি গোলক (sphere) টানা হয় তাহা হইলে সেই গোলকের উপর

সকল কণাই সমান দশায় অবস্থিত হইবে। অতএব এইরূপ গোলকের উপরিস্থিত তলকে তরঙ্গ-মুখ বলা চলে। এইরূপে কেন্দ্র হইতে বহুদূরে যদি তরঙ্গ-মুখকে নিরীক্ষণ করি তাহা হইলে দেখা যাইবে যে গোলকের কোন এক ছোট অংশ প্রায় সমতল। এইরূপ অবস্থায় তরঙ্গ-মুখ এক সমতল ক্ষেত্রও হইতে পারে। তরঙ্গ প্রবাহের দিক ও তরঙ্গ-মুখ সকল সময়েই সমকোণে ছেদ করে।

১৩। **তরঙ্গ-বেগ :** এক সেকেণ্ডে তরঙ্গ যতদূর যায় সেই দূরত্বকে **তরঙ্গ বেগ** বলে। মনে কর λ = তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য, T = পর্যায়কাল, V = তরঙ্গ-বেগ

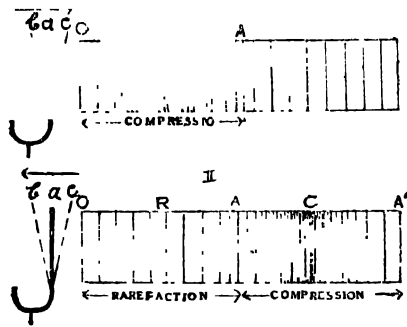
$$\therefore \quad V = \frac{\text{দূরত্ব}}{\text{সময়}} = \frac{\lambda}{T}\pi \text{। আবার } \frac{1}{T} = n \quad \therefore V = n\lambda.$$

১৪। **দুই তরঙ্গের পার্থক্য :** (ক) তির্যক তরঙ্গে কণাগুলি তরঙ্গ গতির অভিমুখের সহিত সমকোণে কম্পিত হয়। অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের কণাগুলি তরঙ্গ-গতির অভিমুখের সমান্তরালে কম্পিত হয়। ১৪নং চিত্রে AB কতকগুলি কণা তরঙ্গ গতির সমকোণে কম্পিত হইতেছে। CD কতকগুলি কণা তরঙ্গ গতির সমান্তরালে কম্পিত হইতেছে। আলোক বা তাপ বা তড়িৎ তরঙ্গ—তির্যক তরঙ্গ, শব্দ তরঙ্গ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ। গ্যাসের মধ্য দিয়া কেবল অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ যায়; কঠিন ও তরলের মধ্য দিয়া তির্যক ও অনুদৈর্ঘ্য দুই তরঙ্গই যায়।

(a)
A B
(b)
C D

১৪নং চিত্র

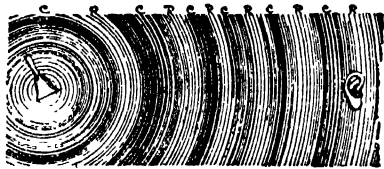
শব্দগতির কৌশল (Mechanism of Sound Propagation)

১৫। এইবার আমরা শব্দ কি কৌশলে বায়ুতে চলে সেই বিষয়ে আলোচনা করিব। মনে কর Tuning forkএর একটি বাহু (prong) কাঁপাইয়া শব্দ করান হইল। মনে কর *a* হইল বাহুর মধ্যক স্থির অবস্থান। বাহু *a*এর দুইদিকে *b* ও *c* পর্য্যন্ত কাঁপে। সুতরাং একটি সম্পূর্ণ কম্পনে বাহু *c* হইতে *b*তে যায় এবং *b* হইতে পুনরায় *c*তে আসে। এই সময়কে **পর্য্যায়কাল** T বলে। মনে কর বাহুর সম্মুখস্থ বায়ু কতকগুলি সমবেধের স্তরে বিভক্ত হইয়া আছে।

(১৪নং চিত্রে লম্ব রেখা দ্বারা স্তর দেখান হইয়াছে)। যখন বাহু *b* হইতে *c* এর দিকে যায় তখন ইহা সম্মুখস্থ বায়ুস্তরকে ধাক্কা দেয়। এই স্তরের আয়তন কমিয়া যায় অর্থাৎ স্তরটি সংনমিত হয় ফলে চাপ বাড়ে। বায়ুর স্থিতিস্থাপকতা গুণের জন্য এই সংনমিত স্তর বিস্তৃত হইতে চেষ্টা করে। কিন্তু স্তরের বাম দিকে বাহুর বাধা থাকায় বায়ু বাম দিকে বিস্তৃত হইতে পারে না। সংনমিত স্তরটি ডান পার্শ্বের দ্বিতীয় স্তরকে সংনমিত করে ও দ্বিতীয় স্তর পর্য্যায়ক্রমে তৃতীয় স্তরকে ধাক্কা দেয়। এইরূপে **সংনমন কম্পন** (Compression pulse C) স্তর হইতে স্তরে নির্দিষ্ট বেগে অগ্রসর হয়। যতক্ষণ বাহু *b* হইতে *c*তে পৌঁছায় ততক্ষণে বাহুর সম্মুখস্থ কতকগুলি স্তর সংনমিত হয়। মনে কর বাহুর পর্যায়কালের অর্ধেক সময়ে O হইতে A পর্য্যন্ত সমস্ত স্তরগুলি সংনমিত হয় (চিত্রে I) এবং এই সংনমন কম্পন শব্দের নির্দিষ্ট বেগে ডানদিকে অগ্রসর হয়।

১৫নং চিত্র

এখন বাহু *c* হইতে যখন *b*র দিকে ফিরিয়া আসে তখন বাহুর পশ্চাতে বায়ুস্তরে আংশিক শূন্যতা (vacuum) উৎপন্ন হয়। সেইজন্য বাহু সংলগ্ন প্রথম বায়ুস্তরটির চাপ কমিয়া যায়। ইহা বিস্তৃত হইয়া বামদিকে সরিয়া আসে, এবং পরপর প্রত্যেক বায়ুস্তরেই চাপ কমিয়া যাওয়াতে ইহারা পর্যায়ক্রমে বিস্তৃত হয়। কাজেই একটি **তনুভবন বা বিস্তৃত কম্পন** (rarefaction pulse R) এক স্তর হইতে অন্য স্তরে ডানদিকে চালিত হয়। এই তনুভবনের বেগ সংনমনের বেগের সমান হয়। এইরূপে বাহুটি যতক্ষণে *b*তে ফিরিয়া আসে ততক্ষণে বিস্তৃত স্তরগুলির দৈর্ঘ্য O হইতে A পর্য্যন্ত হয় এবং সংনমন স্তরের দৈর্ঘ্য ও তনুভবন স্তরের দৈর্ঘ্য সমান হয়। এই সময় সংনমন স্তরটি A হইতে A'তে চলিয়া আসিয়াছে সুতরাং বাহুর একটি সম্পূর্ণ পর্যায়কালে আলোড়নটি O হইতে A' পর্য্যন্ত আসিয়াছে। O

হইতে A′ পর্য্যন্ত বায়ুস্তরগুলির অর্ধেক হইল সংনমন স্তর (AA′) আর অর্ধেক হইল তনুভবন (OA′) স্তর (চিত্রে II)। কম্পমান বস্তুর এক পর্যায়কালে আলোড়ন যে দূরত্বে যায় সেই দূরত্বকে **তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য** বলে। এখানে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য হইল OA′। সুতরাং **একটি শব্দ তরঙ্গ = তনুভবন তরঙ্গ + সংনমন তরঙ্গ**। যখন কোন বস্তু সমসত্ত্ব মাধ্যমে অনবরত কম্পিত হয় তখন সংনমন ও তনুভবন স্পন্দন পর্যায়ক্রমে সমবেগে চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে। এই স্পন্দনগুলি স্ বেধের ফাঁপা গোলকের ন্যায়। এই গোলকগুলির ব্যাসার্ধ ক্রমশই বাড়িয়া যায়। কাগজের উপর ইহাদিগকে বৃত্তাকার আংটির ন্যায় প্রকাশ করা হয়। আমরা পূর্বে দেখিয়াছি যে জলের মধ্যে ঢিল ফেলিলে বৃত্তাকার তরঙ্গপাদ ও শীর্ষের উদ্ভব হয়। সর্বোচ্চ সংনমন ও তনুভবন কম্পন কতকটা বৃত্তাকার তরঙ্গ পাদ ও শীর্ষের সঙ্গে তুলনীয়। ইহাদের মধ্যে পার্থক্য যে জলকণা তরঙ্গগতির সমকোণে উঠানামা করে কিন্তু বায়ুকণা তরঙ্গগতির সমান্তরালে কম্পিত হয়।

এই সংনমন ও তনুভবন কম্পন বায়ুমাধ্যমের মধ্য দিয়া যাইয়া আমাদের কাণের পর্দাকে আঘাত করে এবং এই পর্দা শব্দতরঙ্গের সমতালে কম্পিত হয়। পর্দার এই কম্পন কানের বিভিন্ন যন্ত্র দিয়া মস্তিষ্কে পৌঁছায় ও শব্দানুভূতি উৎপন্ন হয়। (পরে দেখ)।

১৬নং চিত্র

এখানে আর একটি জিনিষ মনে রাখিবে বাহুর বেগ b হইতে c পর্য্যন্ত সমান হয় না। bতে ও cতে বেগ সর্বাপেক্ষা বেশী ও a তে সর্বাপেক্ষা কম হয়। আবার বাহুর দ্বারা বায়ুর উপর যে চাপ পড়ে তাহা বাহুর বেগের উপর নির্ভর করে। সুতরাং সংনমনের বা তনুভবনের মাত্রা সংনমন কম্পনের বা তনুভবন কম্পনের মাঝখানে খুব বেশী হয়, দুইধারে কম থাকে। ১৫ চিত্রে ঘন ও পাতলা রেখা দ্বারা ইহা বুঝান হইয়াছে।

১৬। শব্দ এক প্রকার তরঙ্গ-গতি (Sound is a wave

motion) :—নিম্নলিখিত কারণে শব্দ প্রবাহকে তরঙ্গ-গতি ভাবা হয় অর্থাৎ শব্দ-শক্তি তরঙ্গ দ্বারা আমাদের কাণে পৌছায় :—

(ক) শব্দ কোন বস্তুর কম্পন হইতে উদ্ভূত হয়। তরঙ্গও কোন বস্তুর কম্পন হইতে উদ্ভূত হয়।

(খ) তরঙ্গ একস্থান হইতে আর একস্থানে যাইতে সময় লয়। শব্দও একস্থান হইতে আর একস্থানে যাইতে সময় লয়।

(গ) কঠিন ও তরলে শব্দের বেগ গ্যাসে শব্দের বেগ অপেক্ষা বেশী হয়। ইহা একমাত্র তরঙ্গ-গতি দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়।

(ঘ) তরঙ্গ প্রবাহের জন্য স্থিতিস্থাপক মাধ্যম দরকার, শব্দ প্রবাহের জন্যও স্থিতিস্থাপক মাধ্যম দরকার। মাধ্যমের কণাগুলি স্থানান্তরিত না হইয়াও শব্দকে পরিবহন করে।

(ঙ) তরঙ্গ নির্দিষ্ট নিয়মে প্রতিফলিত (reflected) ও প্রতিসৃত (refracted) হয় ; শব্দও সেই নিয়মেই প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত হয়।

(চ) দুইটি বিভিন্ন প্রস্থ তরঙ্গ একই সময়ে একই মাধ্যমের একই স্থানের ভিতর দিয়া যাইবার সময় কতকগুলি অবস্থায় এক তরঙ্গ অপর তরঙ্গের ফলকে প্রশমিত করে। ইহাতে শব্দাভাব ঘটে। এই ঘটনাকে **ব্যতিচার** (interference) বলে। শব্দের বেলায়ও সেই নিয়মই প্রযোজ্য। পরে দেখা যাইবে যে দুইটী শব্দ তরঙ্গের ব্যাতিচারের ফলে **স্বর কম্প** (Beats) ঘটিয়া থাকে।

(ছ) শব্দ তরঙ্গ কোন বাধার পার্শ্ব দিয়া চলিয়া যায়। কোন দেওয়ালের অপর দিকে শব্দ হইলে দেওয়ালের পশ্চাতের লোক শুনিতে পায়, শব্দ তরঙ্গ দেওয়াল ঘুরিয়া চলিয়া যায়। শব্দ তরঙ্গের বাঁকাপথে চলাকে **অববর্ত্তন** (Diffraction) বলে। দেওয়াল টপকান সম্ভবপর হয় কারণ শব্দের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য খুব বড়। আলোক তরঙ্গের বেলায়ও রৈখিক পথ হইতে বিচ্যুতি ঘটে কিন্তু সেটা খুবই সামান্য। ইহার কারণ হইতেছে যে আলোকের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য শব্দ তরঙ্গের তুলনায় খুবই ছোট।

(জ) শব্দের বেলায় **সমবর্ত্তন** (polarisation) সম্ভব নয় কারণ শব্দ তরঙ্গ

অনুদৈর্ঘিক, কিন্তু আলোক তরঙ্গের বেলায় ইহা সম্ভবপর কারণ আলোক তরঙ্গ তির্যক।

(ঝ) Wood সত্যই সংনমন তরঙ্গের ফটোগ্রাফ তোলেন। ইহাতে হাইজিনের গৌণ তরঙ্গের (secondary wavelet) বিষয় প্রমাণিত হয়।

১৭। চলমান তরঙ্গের সমীকরণ (Expression) :

চল তরঙ্গের কণা সরল সমঞ্জস গতি সম্পন্ন হয়। সেইজন্য উহার সরণকে যে কোন মুহূর্তে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় :—

$$x = a \sin (\omega t - \alpha) = a \sin \left\{ \frac{2\pi}{T} \cdot (t - \alpha) \right\}$$

$$= a \sin \left(\frac{2\pi}{\frac{\lambda}{v}} \cdot t - \alpha \right) = a \sin \left(\frac{2\pi\, v.t}{\lambda} - \alpha \right)$$

এখানে x — সরণ, a — বিস্তার, T — পর্যায়কাল, ω — কৌণিক গতি, t — সময়, α — Epoch, v — তরঙ্গ বেগ। Epoch বলিতে আমরা বুঝি যে তরঙ্গটি α — দশা-কোণ (phase angle) পশ্চাতে পিছিয়ে আছে, অর্থাৎ r যদি দূরত্ব হয়, $r = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \alpha$। কারণ λর দরুণ দশাকোণ 2π হইয়া থাকে, অতএব

$$\alpha = \frac{2\pi r}{\lambda} \quad \therefore \quad x = a \sin \left(\frac{2\pi vt}{\lambda} - \frac{2\pi r}{\lambda} \right) = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt - r)$$

যে নির্দিষ্ট কণার সরণ বিচার করিতেছি r — উহার মূল-বিন্দু (origin) হইতে দূরত্ব।

অঙ্ক 1. If the frequency of a tuning fork is 400 and the velocity of sound in air is 320 metres per second, find how far sound travels when the fork executes 30 vibrations. (C. U. 1913)

এক সেকেণ্ডে fork এর বাহু 400 বার কম্পন করে এবং ঠিক এক সেকেণ্ডে শব্দ তরঙ্গ 320 মিটার গমন করে। সুতরাং যে সময়ে বাহু 30 বার কম্পন করে সেই সময়ে শব্দ তরঙ্গ $\frac{320}{400} \times 30 = 24$ মিটার গমন করে।

2. A body vibrating with a constant frequency sends waves 10 cm. long through a medium A and 15 cm. long through another medium B. The velocity of the waves in A is 90 c.m. per sec. Find the velocity of the waves in B. (C. U. 1931).

মনে কর B মাধ্যমে তরঙ্গের বেগ = V ; আমার জানি বেগ = স্পন্দন-সংখ্যা × তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ∴ A মাধ্যমের জন্য $90 = n \times 10$ ∴ $n = 9$ প্রতি সেকেণ্ডে. B মাধ্যমের জন্য $V = n \times 15 = 9 \times 15 = 135$ সেঃ মিঃ প্রতি সেকেণ্ডে।

এখানে n = স্পন্দন সংখ্যা। ইহা A ও B মাধ্যমে একই হয়।

প্রশ্ন

1. Define amplitude, frequency and wave-length. What is the relation between velocity and wave-length ?
(All. U. 1920 , P. U. 1918)

2. When are two vibrating particles said to have the same phase ? (C. U. 1910,)

3. Explain what is meant by longitudinal wave-motion in a medium. Indicate what goes in the medium which transmits a sound. (C. U. 1919, '20, '22 ; Pat. U. 1918).

4. State what is meant by longitudinal and transverse wave motions. Give an example of each type. Define wave length and establish the relation between the wave-length and velocity of wave-motion in a free medium. (C. U. 1938).

5. What reasons are there for believing that sound is conveyed by wave-motion. (All. U. 1913, '15 ; Dac. U. 1932 ; C. U. 1929).

6. Explain as far as you can the mode of propagation of sound through air. (C. U. 1918, '26. Dac. U. 1928. Pat. U. 1939).

7. Explain with diagrams the mode of propagation of sound in air. Define the terms wave-length and vibration frequency.
(Pat. U. 1931).

8. Define angular velocity of a body moving uniformly in a circle. Find its periodic time. Show that the foot of the perpendicular drawn from the body to a fixed diameter of the circle describes S. H. M. and hence define such a motion. (C. U. 1933).

9. What are the main characteristics of wave motion ? Point out the chief resemblances and differences between waves of sound and waves of light. (L. M.)

10. Describe the motion of a sounding body. How would you demonstrate the nature of the motion experimentally. (C. U. 1935).

উঃ—Duhamel Vibroscope নামক যন্ত্র দিয়া ভূষা মাখান কাগজের উপর শব্দতরঙ্গের দাগ দেখান যায়। পরে ইহা বর্ণিত হইয়াছে।

শব্দের বেগ (Velocity of Sound)

১৮। **বায়ুতে শব্দের বেগ ঃ** আলোক তরঙ্গের মত শব্দ তরঙ্গও নির্দিষ্ট বেগে গমন করে কিন্তু আলোক তরঙ্গের বেগ শব্দ তরঙ্গের বেগের তুলনায় খুব প্রচণ্ড। আলোক তরঙ্গ সেকেণ্ডে ১৮৬০০০ মাইল যায়, শব্দ তরঙ্গ সেকেণ্ডে মাত্র ৩৩২ মিটার বা ১১২০ ফিট যায়। নিম্নলিখিত সাধারণ দৃষ্টান্ত হইতে দুই তরঙ্গের বেগের পার্থক্য বোঝা যায়: (ক) এক মাইল দূরে কাল-বৈশাখীর আকাশে এক সঙ্গেই বজ্রধ্বনি হইলে ও বিদ্যুৎ চমকাইলে আমরা ·০০০০০৫৪ সেকেণ্ড পরে বিদ্যুৎ দেখিব কিন্তু ৫ সেকেণ্ড পরে বজ্রের শব্দ শুনিব। ·০০০০০৫৪ সেকেণ্ড সময় কিছুই না সুতরাং বিদ্যুৎ দেখা ও বজ্রের শব্দ শোনার সময়ের ব্যবধানে শব্দ তরঙ্গ ১ মাইল আসে ধরা যায়। (খ) বহু দূরের এঞ্জিন বাঁশি বাজাইলে প্রথমে ধোঁয়া দেখা যায়, কিছু পরে বাঁশির শব্দ শোনা যায়। (গ) বন্দুক ছোড়ার সময় বন্দুকের আলো আমরা আগে দেখি, পরে আওয়াজ শুনি। সব ক্ষেত্রেই চোখে দেখা আগে হয়, কাণে শোনা পরে হয়। সুতরাং কম দূরত্বে শব্দের বেগ নির্ণয়ে আলোকের ভ্রমণের সময় গণনায় ধরা হয় না।

১৯। **শব্দের বেগ নির্ণয়ের পরীক্ষা** (Experimental Determination): নিম্নলিখিত উপায়ে শব্দের বেগ নির্ণয় করা যায়: (ক) **খোলা বায়ুতে পরীক্ষা** (Open air Method)। (খ) **বায়ুস্তরের অনুনাদ** (Resonance of air column)। (গ) Kundt এর নল পরীক্ষা। খ ও গ পদ্ধতি পরে বর্ণিত হইয়াছে।

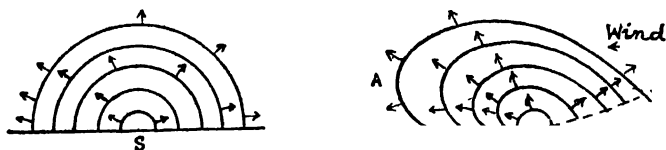
(ক) খোলা বায়ুতে পরীক্ষা ঃ

নীতি—মোটামুটি ভাবে এই পরীক্ষায় পর্যবেক্ষকের কিছুদূরে A স্থান হইতে শব্দ করা হয়, এবং সঙ্গে সঙ্গেই দূর থেকে শব্দ করার মুহূর্ত জ্ঞাপন করা হয় এবং শব্দ অপর B স্থানে পর্যবেক্ষণের কাণে পৌঁছাইলে সময়ের ব্যবধান দেখা হয়। তারপর A ও B স্থানের দূরত্বকে সময়ের ব্যবধান দিয়া ভাগ করিয়া শব্দের বেগ নিরূপিত হয়।

পরীক্ষা ঃ—১৭৩৮ খৃষ্টাব্দে প্যারিসের কয়েকজন বৈজ্ঞানিক প্রায় ১৮ মাইল

দূরে দূরে অবস্থিত দুইটি A ও B পাহাড়ের চূড়া পরীক্ষার স্থান রূপে স্থির করেন। দুইটি চূড়ার উপর দুইটি কামান ও কয়েকজন পর্যবেক্ষক stop ঘড়ি লইয়া অবস্থান করেন। এই stop ঘড়িতে $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড পর্য্যন্ত সময় পড়া যায়। মনে কর A পাহাড়ের চূড়ায় অবস্থিত কামান ছোঁড়া হয়। কামানের আলো দেখার সঙ্গে সঙ্গেই B পাহাড়ের পর্যবেক্ষক ঘড়ি চালিয়ে দেন। যখন B পাহাড়েব পর্যবেক্ষকের কাণে কামানের শব্দ এসে পৌছায় তখন তিনি stop ঘড়ি বন্ধ করে দেন এবং সময়ের ব্যবধান লিখিয়া রাখেন। আবার B পাহাড়ের উপর কামান ছোঁড়া হয় এবং প্রথমোক্ত পাহাড়ের পর্যবেক্ষক পূর্বোক্ত উপায়ে সময় দেখেন। একে বিপরীত (reciprocal) পর্য্যবেক্ষণ বলা হয়। এখন ঐ দুইটী পাহাড়ের দূরত্ব যদি x ফুট হয় ও দুইটী সময় যদি t_1 ও t_2 সেকেণ্ড হয়, তবে $\frac{x}{t_1}$ ও $\frac{x}{t_2}$ দুইদিক হইতে শব্দের বেগের পরিমাপ এবং ইহার গড় হইবে সঠিক বেগ $=\frac{1}{2}\left(\frac{x}{t_1}+\frac{x}{t_2}\right)$ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে

এই পরীক্ষায় দুইটি কারণে গণনায় ভুল হইতে পারে:—

(১) **বায়ুর বেগ:** যদি বায়ুর বেগ শব্দের গতি অভিমুখী হয় তবে বায়ু শব্দকে সাহায্য করিবে ও শব্দের বেগ বর্ধিত করিবে এবং বিপরীতদিকে প্রবাহিত হইলে

১৭নং চিত্র

শব্দের বেগ কমাইয়া দিবে। **উপরোক্ত বিপরীত পর্যবেক্ষণের ফলে দুই দিকের** বেগের গড় লইলে বায়ু প্রবাহের দরুণ ভুল অপনোদিত হইবে। মনে কর প্রথম চূড়া হইতে দ্বিতীয় চূড়ার দিকে বায়ুর বেগ $=v$, নিশ্চল বায়ুতে শব্দের বেগ $=$ V.

$$V+v=\frac{x}{t_1},\ V-v=\frac{x}{t_2}\qquad V=\frac{1}{2}\left(\frac{x}{t_1}+\frac{x}{t_2}\right)$$

(২) **পর্যবেক্ষকের নিজের ভুল** (Personal equation)—পর্যবেক্ষক কামানের আলো দেখিয়া stop ঘড়ি চালাইতে কিম্বা শব্দ শুনিয়া ঘড়ি বন্ধ করিতে যে সামান্য সময় লন তাহা এই ভুলের কারণ। যেমন ধরা যাক আলো দেখা ও ঘড়ি চালানর মধ্যে ব্যবধান হইল ১/৫ সেকেণ্ড এবং শব্দ শোনা ও ঘড়ি চালানর মধ্যে ব্যবধান হইল ১/১০ সেকেণ্ড। অতএব ১/৫ − ১/১০ = ১/১০ সেকেণ্ড দুই কার্যে বেশী সময় লাগিল, t_1 কিম্বা t_2এর মধ্যে ঐ ভুলটি থাকিয়া গেল, শব্দের বেগ নিরূপণও নির্ভুল হইল না। এই ভুল অবশ্য নিবারণ করিতে হইলে তড়িতের সাহায্য লইতে হয়। তড়িৎ ঘড়ির সাহায্যে কামান ছোঁড়ার মুহূর্তটি স্বয়ংক্রিয় ব্যবস্থায় লিপিবদ্ধ হয়। দূরবর্ত্তি পাহাড়ে শব্দ শোনার মুহূর্তটি মাইক্রোফনের সংলগ্ন ফটোফিলমে মুদ্রিত হয়। এই উপায়ে শব্দের বেগ নির্ভুল ভাবে নির্ণীত হয়।

শব্দের বেগ 0°Cতে ৩৩২·৪ মিটার প্রতি সেকেণ্ডে কিম্বা ১০৮৭ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে।

২০। **পরীক্ষার ফল :** বিভিন্ন পরীক্ষক বায়ুর বিভিন্ন উষ্ণতা, চাপ ও আর্দ্রতায় শব্দের বেগ নির্ণয় করিয়া নিম্নলিখিত সিদ্ধান্তে উপনীত হন:—(১) বায়ুর চাপ পরিবর্তনে শব্দের বেগের কোন পরিবর্তন হয় না। (২) শব্দের বেগ বায়ুর উষ্ণতা ও আর্দ্রতা বৃদ্ধির সঙ্গে বাড়ে। (৩) শব্দের বেগ বায়ুর অভিমুখে বাড়ে। (৪) শব্দের বেগ 0°Cতে শুষ্ক ও স্থির বায়ুতে ৩৩২ মিঃ প্রতি সেকেণ্ডে। Regnault পরীক্ষা করিয়া দেখান যে প্রবল (loud) শব্দের (যথা বোমার প্রচণ্ড বিস্ফোরণের শব্দ) বেগ বাড়িয়া যায়। প্রথম মহাযুদ্ধে শত্রুর কামানের অবস্থান জানিবার জন্য শব্দের বেগ নির্ণয়ের (sound ranging) নানাপ্রকার নূতন কৌশল উদ্ভাবিত হয়।

২১। **নিউটনের সূত্র** (Newton's Formula) **:** নিউটন সর্বপ্রথম অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের তথা শব্দ তরঙ্গের বেগের সূত্র আবিষ্কার করেন। সূত্রটি এইরূপ : শব্দের বেগ মাধ্যমের আয়তনাঙ্কের বর্গমূলের সমানুপাতিক হয় এবং

ঘনাঙ্কের ব্যস্তানুপাতিক হয়। অর্থাৎ বেগ নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় :—

$$V = \sqrt{\frac{E}{D}}$$

V—শব্দতরঙ্গের বেগ
E—মাধ্যমের আয়তনাঙ্ক (Bulk Modulus)
D—মাধ্যমের ঘনাঙ্ক (Density)

আমরা জানি মাধ্যমের আয়তনাঙ্ক $= \frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}}$ কিন্তু গ্যাসের বেলায় পীড়ন = এক সেন্টিমিটার ক্ষেত্রফলের উপর চাপের পরিবর্তন, বিকৃতি = অনুরূপ আয়তনের বিকৃতি, অর্থাৎ এক ঘন সেঃ মিঃ মাধ্যমে উপরোক্ত পীড়নের দরুণ যতটুকু আয়তনের পরিবর্তন ঘটে তাহাই হইল বিকৃতি।

মনে কর V′ ঘন সেঃ মিঃ গ্যাসের উপর P ডাইন প্রতি বর্গ সেঃ মিঃ চাপ বর্তমান। এই চাপের উপর প্রতি বর্গ সেঃ মিঃ এ P ডাইন চাপ বর্ধিত হইল। মনে কর মাধ্যমের আয়তন ৯ ঘন সেঃ মিঃ সঙ্কুচিত হইল।

$$\therefore\quad E = \frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}} = \frac{\text{প্রতি একক ক্ষেত্রে চাপ-বৃদ্ধি}}{\text{প্রতি এক আয়তনে আয়তন-বৃদ্ধি}}$$

$$= \frac{P}{\frac{v}{V'}} = V'\frac{P}{v} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(\text{ক})$$

নিউটন ধরিয়া লইলেন যে গ্যাসের মধ্য দিয়া শব্দ তরঙ্গ প্রবাহিত হইবার সময় মাধ্যমের উষ্ণতার হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে না অতএব Boyle এর সূত্র প্রযোজ্য।

$$\therefore\quad PV' = (P+p)(V'-v) = PV' + pV' - vP - pv$$

শব্দ তরঙ্গের চাপের ও আয়তনের পরিবর্তন খুব কম।

$\therefore$ pv খুব কম বলিয়া উহাদের বাদ দেওয়া যায়

$$\therefore\quad pV' = vP \quad \text{বা} \quad P = p\frac{V'}{v}$$

(ক) হইতে $E = V'\frac{p}{v} = P.$

অর্থাৎ যে সব গ্যাস বয়েলের সূত্র মানে তাহাদের স্থিতিস্থাপকতা = চাপ

অতএব, Newtonএর নিয়ম অনুসারে গ্যাসের মধ্যে শব্দ বায়ু তরঙ্গের বেগ নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশিত হয়

$$V = \sqrt{\frac{P}{D}}$$

২২। সাধারণ উষ্ণতা ও চাপে (N. T. P.) শব্দ-বেগ গণনা :

মনে কর বায়ুর সাধারণ চাপ $= P = 76 \times 13{\cdot}596 \times 980{\cdot}6 = 1{,}0{\cdot}13{,}250$ ডাইন/সে. মি.[২]

মনে কর বায়ুর ঘনাঙ্ক $= D = 0{\cdot}0\ 01293$ ডাইন = প্রতি ঘন সেঃ মিঃ

$\therefore$ বায়ুতে 0° উষ্ণতায় 76 cm চাপে বায়ুর বেগ

$$= \sqrt{\frac{76 \times 13{\cdot}596 \times 980{\cdot}6}{0{\cdot}001293}} = 280$$ মিটার প্রতি সেকেণ্ডে (কমবেশী)

কিন্তু পরীক্ষায় 0°Cতে শব্দ-বেগ 332 মিটার প্রতি সেকেণ্ডে পাওয়া যায়, সুতরাং নিউটনের হিসাবে কোথাও গলদ ছিল।

২৩। লাপলাসের সংশোধন (Laplace's Correction) : নিউটন ধরিয়া লন যে শব্দ তরঙ্গ বায়ুব মধ্য দিয়া যাইবার সময় বায়ুর আয়তনের যে পরিবর্তন হয় তাহাতে বায়ুর উষ্ণতার কোন পরিবর্তন ঘটে না, ইহা ভুল। সংনমন ও তনুভবন তরঙ্গ মাধ্যমের ভিতর দিয়া এত দ্রুত প্রবাহিত হয় যে মাধ্যমের উষ্ণতার পরিবর্তন ঘটে, সেইজন্য Newtonএর গণনায় ভুল হয় এবং সেই কারণে গ্যাসের আয়তনাঙ্ক E চাপ Pএর সঙ্গে সমান হয় না। Newtonএর পরীক্ষার প্রায় ২০ বৎসর পরে Laplace দেখান যে শব্দ প্রবাহের সময় গ্যাসের মধ্যে খুব দ্রুত কম্পন হয় এবং গ্যাসের তাপ বিকিরণ ক্ষমতা ও পরিবাহিতা খুবই অল্প সেইজন্য উষ্ণতার তারতম্য ঘটে। গ্যাসের ভিতর শব্দের তরঙ্গ প্রবাহের সময় যে পরিবর্তন হয় তাহা **রুদ্ধতাপ** (adiabatic) পরিবর্তন অর্থাৎ তাপ বাহির হইতে মাধ্যমের ভিতর প্রবেশ করে না কিম্বা মাধ্যম হইতে বাহিরে যায় না; সেই কারণে সংনমনের সময় মাধ্যমের উষ্ণতা বৃদ্ধি ঘটে ও তনুভবনের সময় মাধ্যমের উষ্ণতা হ্রাস পায়। কিন্তু সংনমন ও তনুভবন এত দ্রুত ঘটে যে সংনমনের তাপ ও তনুভবনের শৈত্য উভয়ই তরঙ্গের মধ্যেই থাকিয়া

যায়। গ্যাসের পরিবাহিতা ও বিকিরণ ক্ষমতা কম বলিয়াই এইরূপ ঘটে। সেই কারণে Boylerএর সূত্র প্রযোজ্য নয়।

Laplace দেখাইলেন যে রুদ্ধতাপ অবস্থায় আয়তনাঙ্ক $= \gamma P$

$\gamma = \dfrac{\text{নির্দিষ্ট চাপে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ}}{\text{নির্দিষ্ট আয়তনে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ}} = \dfrac{c_p}{c_v}$ = গ্যাসের দুই আপেক্ষিক তাপের অনুপাত (৬৬ অনুঃ ২৪৮ পৃঃ প্রথম খণ্ড)। দুই পরমাণু বিশিষ্ট (Diatomic) গ্যাসের বেলায় $\gamma = 1{\cdot}41$। বায়ু দুই পরমাণু বিশিষ্ট গ্যাসের দ্বারাই উদ্ভূত, সেইজন্য

$$V = \sqrt{\frac{\gamma \times P}{D}} = \sqrt{\frac{1{\cdot}41 \times P}{D}} = 280 - \sqrt{1{\cdot}41} = 332{\cdot}5 \text{মি. প্রতি সেকেণ্ডে,}$$

এই অঙ্ক পরীক্ষায়ও পাওয়া যায়।

২৪। গ্যাসে শব্দ-বেগের উপর চাপ, উষ্ণতা ও আর্দ্রতার প্রভাব (Effects of pressure, temperature and humidity on velocity of sound): (ক) **চাপের প্রভাব:** উষ্ণতা সমান থাকিলে চাপের তারতম্যে শব্দ-বেগ প্রভাবিত হয় না।

প্রমাণ: মনে কর কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ $= P_1$ ও P_2, আয়তন $= v_1$ ও v_2 ঘনাঙ্ক $= D_1$ ও D_2 তবে বয়লের সূত্র অনুসারে $P_1 v_1 = P_2 v_2 \quad \therefore \dfrac{P_1}{P_2} = \dfrac{v_2}{v_1}$ কিন্তু $\dfrac{v_2}{v_1} = \dfrac{D_1}{D_2}$ কারণ $v_1 D_1 = v_2 D_2$ = ভর এবং গ্যাসের ভর সমান থাকে, অতএব $\dfrac{P_1}{D_1} = \dfrac{P_2}{D_2}$ = ধ্রুবক

কিন্তু $V = \sqrt{\dfrac{1{\cdot}41 P}{D}}$। এই সমীকরণে $\dfrac{P}{D}$ = ধ্রুবক $\quad \therefore \quad V$ = ধ্রুবক

অর্থাৎ **উষ্ণতা সমান থাকিলে চাপের পরিবর্তনে শব্দের বেগের পরিবর্তন হয় না।**

(খ) **উষ্ণতার প্রভাব:** বায়ুর উষ্ণতার পরিবর্তনে ঘনাঙ্কের পরিবর্তন ঘটে। মনে কর D_0 ও D_t বায়ুর $0°C$ ও $t°C$ তে ঘনাঙ্ক। $\therefore$ চার্লের নিয়মানুসারে

$$D_0 = D_t(1 + \alpha t); \ \alpha = \text{গ্যাসের প্রসারাঙ্ক} = \frac{t}{273}$$

$$\frac{D_0}{D_t} = 1 + \frac{t}{273} = \frac{273 + t}{273}$$

যদি $0°C$ ও $t°C$ উষ্ণতায় বায়ুতে শব্দের বেগ V_t ও V_0 হয় তবে

$$V_0 = \sqrt{\frac{1 \cdot 41 \times P}{D_0}} \text{ এবং } V_t = \sqrt{\frac{1 \cdot 41 P}{D_t}}$$

$$\therefore \frac{V_t}{V_0} = \sqrt{\frac{D_0}{D_t}} = \sqrt{\frac{273+t}{273}} = \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad T, T_0 \text{ চরম উষ্ণতা}$$

(absolute temperature)

শব্দের বেগ চরম উষ্ণতার বর্গমূলের সহিত সমাপাতিক হয়। উষ্ণতা বাড়িলে বেগ বাড়ে।

$$\frac{V_t}{V_0} = \sqrt{\frac{273+t}{273}} = \left(1 + \frac{t}{273}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(1 + \frac{1}{2} \times \frac{t}{273}\right),$$

$\left(\frac{t}{273}\right)^2$ এবং আরও উর্ধ্বঘাতিক রাশি ছোট বলিয়া পরিত্যাগ করিয়া,

$$\therefore V_t = V_0\left(1 + \frac{t}{546}\right) = 332\left(1 + \frac{t}{546}\right) = 332 + 0.61\,t$$ মিটার প্রতি সেকেণ্ডে।

সুতরাং **প্রতি** $t°C$ **উষ্ণতা**-বৃদ্ধিতে 61 সেঃ মিঃ বা 2 ft. করিয়া শব্দ-বেগ বর্ধিত হয়।

(গ) আর্দ্রতার প্রভাব: বায়ুর অপেক্ষা জলীয় বাষ্পের ঘনাঙ্ক কম; বাষ্পের ঘনাঙ্ক $= 0.62$ বায়ুর ঘনাঙ্ক $=$ ৩, অতএব। জলীয় বাষ্প থাকিলে বায়ুর ঘনাঙ্ক কমিবে অর্থাৎ শব্দের বেগ বাড়িবে, সেই কারণে আর্দ্র বায়ুতে শব্দ-বেগ বেশী।

২৫। আর্দ্রতার জন্য শব্দ-বেগের সংশোধন (Correction of velocity for moisture) :—

মনে কর $V_m = P$ মিঃ মিঃ চাপে ও $t°c$ উষ্ণতায় আর্দ্র বায়ুতে শব্দের বেগ,

$V_d = 760$ মিঃ মিঃ চাপে ও $t°c$ উষ্ণতায় শুষ্ক বায়ুতে শব্দের বেগ,

$D_m = P$ মিঃ মিঃ চাপে ও $t°c$ উষ্ণতায় আর্দ্র বায়ুর ঘনাঙ্ক

$D_d = 760$ মিঃ মিঃ চাপে ও $t°c$ উষ্ণতায় শুষ্ক বায়ুর ঘনাঙ্ক,

$$\therefore V_m = \sqrt{\frac{\gamma P}{D_m}}, \quad V_d = \sqrt{\frac{\gamma 760}{D_d}}$$

মনে কর $f =$ সংপৃক্ত বাষ্পের $t°C$ উষ্ণতায় চাপ, এখন $D_m = 1$ ঘন সেঃ মিঃ

আর্দ্র বায়ুর P মিঃ মিঃ চাপে ও $t°C$ তাপে ওজন = 1 ঘঃ সেঃ মিঃ শুষ্ক বায়ুর $(P-f)$ মিঃ মিঃ চাপে ও $t°c$ উষ্ণতায় ওজন + 1 ঘঃ সেঃ মিঃ বাষ্পের f মিঃ মিঃ চাপে ও $t°c$ উষ্ণতায় ওজন।

কিন্তু আমরা জানি $1 c.c.$ জলীয় বাষ্পের ভর = $0·622 \times 1 c.c.$ বায়ুর ভর আবার সমান উষ্ণতায় গ্যাসের ঘনাঙ্ক চাপের সমানুপাতিক হয়।

$$\therefore \quad D_m = \frac{P-f}{760} \times D_d + 0·622 \times \frac{f}{760} \times D_d = \frac{D_d}{760}(P - f + 0·622 f)$$

$$= \frac{D_d}{760}(P - 0·378 f) \qquad \cdots (ক)$$

$$V_d = \sqrt{\frac{760 \times D_m}{P \times D_d}} = \sqrt{\frac{P - 0·378 f}{P}} = \sqrt{1 - 0·378 \frac{f}{P}}.$$

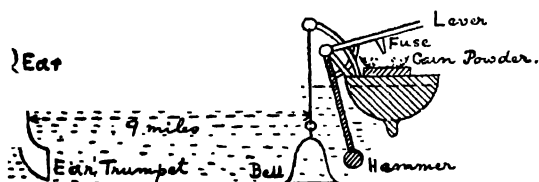
$$\therefore \quad V_d = V_m \sqrt{1 - 0·378 \frac{f}{P}}$$

২৬। **ভিন্ন ভিন্ন গ্যাসে শব্দ-বেগ :—**

Hydrogenএর বেলায় $V_h = \sqrt{\frac{\gamma P}{D_h}}$ এবং oxygenএর বেলায়

$V_o = \sqrt{\frac{\gamma P}{D_o}}$, ইহারা দুই পরমাণু বিশিষ্ট গ্যাস অতএব γ সমান,

$$\frac{V_h}{V_o} = \sqrt{\frac{D_o}{D_h}} = \sqrt{16} = 4.$$

২৭। **মধ্যে শব্দের বেগ**—১৮২৭ খৃষ্টাব্দে Colladon ও

১৮নং চিত্র

Sturm জেনেভা হ্রদে জলের ভিতর শব্দের বেগ নির্ধারণ করেন। ৯ মাইল ব্যবধানে দুই স্থানে পর্যবেক্ষণের ব্যবস্থা হয়। এক স্থানে নৌকার উপর কিছু

বারুদে (gun powder) আগুন দিয়া শব্দ প্রেরণের মুহূর্ত অপর নৌকায় অবস্থিত পর্যবেক্ষককে জানান হয় এবং সেই সময়েই সেই নৌকায় জলের ভিতর অবস্থিত একটি ঘণ্টায় আঘাত করা হয়। অপর দিকে অবস্থিত পর্যবেক্ষক Ear trumpet জলের মধ্যে রাখিয়া শব্দ পৌছানর মুহূর্ত দেখেন। এইরূপে দূরত্বকে সময় দিয়া ভাগ করিয়া শব্দ-বেগ বাহির করা হয়। দেখা যায় যে 8°1C উষ্ণতায় জলে শব্দ-বেগ ১৪৩৫ মিটার প্রতি সেকেণ্ডে। আধুনিক যুগে ১৯১৭ খৃঃ ডুবো জাহাজের সাহায্যে শব্দ-বেগ নিরূপিত হয়। জলে শব্দ-বেগের মান প্রায় বায়ুতে শব্দ-বেগের ৪ গুণ।

২৮। **গাণিতিক হিসাব :**

$$V\omega = \sqrt{\frac{\text{রুদ্ধ-তাপ আয়তনাঙ্ক}}{\text{ঘনাঙ্ক}}}$$

এখানে জলের ঘনাঙ্ক $=1$ গ্রাম প্রতি ঘঃ সিঃ মিঃ এবং রুদ্ধ-তাপ আয়তনাঙ্ক (adiabatic elasticity) $=2{\cdot}1\times10^{10}$ ডাইন/প্রতি বঃ সেঃ মিঃ

$$\therefore \quad V\omega = \sqrt{\frac{2{\cdot}1\times10^{10}}{1}} = 1449 \text{ মিটার প্রতি সেকেণ্ডে।}$$

২৯। **কঠিনের মধ্যে শব্দ-বেগ :** কঠিনে শব্দের বেগ অনেক বেশী। একটা খুব লম্বা লোহার নলের একদিকে শব্দ করিলে ও নলের উপর কাণ রাখিলে দুইটি শব্দ শোনা যায়। প্রথমটি নলের গাত্র দিয়া আসে ও অপরটি বায়ুর ভিতর দিয়া আসে। এই সময়ের ব্যবধান জানা থাকিলে লোহার ভিতর দিয়া শব্দ-বেগ নিরূপণ করা যায়।

ধরা যাক যে $d=$ নলের দৈর্ঘ্য $V_s=$ কঠিনের মধ্যে শব্দ-বেগ, $V=$ বায়ুর মধ্যে শব্দ-বেগ, $t=$ দুইটি শব্দের মধ্যে ব্যবধান,

$$\therefore \quad t = \frac{d}{V_s} - \frac{d}{V}$$ অতএব V_s গণনা করা যাইতে পারে।

বায়ট (Biot) কতকগুলি ছোট লোহার (cast iron) নল পর পর জোড়া দিয়া মোট ৯৫১ মিটার দীর্ঘ একটি বড় নল প্রস্তুত করেন। তিনি এই যুক্ত নলের একদিকে ঘণ্টা বাজান। অপর দিকে দুইটি শব্দ শোনা যায়, একটি শব্দ-তরঙ্গ নলের ভিতরের বায়ুর মধ্য দিয়া যায়। একটি শব্দ-তরঙ্গ লোহার মধ্য

দিয়া যায়। কিন্তু বায়ুতে ও লোহায় শব্দ-তরঙ্গের বেগের পার্থক্যর জন্য দুই শব্দ শোনার সময়ের পার্থক্য দেখা যায় ২'৫ সেকেণ্ড। মনে কর বায়ুতে ও লোহায় শব্দের বেগ যথাক্রমে V_1 ও V

$$\therefore \frac{৯৫১}{V_1} - \frac{৯৫১}{V} = ২'৫;\ V_1 \text{ জানা আছে,}$$

$\therefore$ V = ৩৫০০ মিটার/সেকেণ্ড. কিন্তু ইহা ঠিক নয়।

৩০। **গাণিতিক হিসাব ঃ** যখন সংকোচন তরঙ্গ কঠিনের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয় তখন তাহার বেগ $V = \sqrt{\frac{Y}{D}}$ হয়, এখানে Y = কঠিনের ইয়াংস স্থাপিতাঙ্ক এবং D = ঘনাঙ্ক।

ইস্পাতের Y = ২১'৪ × ১০¹¹ ডাইন/বর্গ সেঃ মিঃ, D = ৭'৬৩ গ্রাম/ঘন সেঃ মিঃ

$$\therefore \text{ ইস্পাতে } V = \sqrt{\frac{১৪ \times ১০^{১১}}{৭৬৩}} = ৫২'৯৬ \text{ মিটার প্রতি সেকেণ্ড।}$$

৩১। **অন্যান্য কঠিনে শব্দের বেগ ঃ** (ক) তারের আকাবে কঠিনে শব্দের বেগ নির্ণয়ের পদ্ধতি পরে বর্ণিত হইয়াছে। (খ) দণ্ডের (rod) আকারের কঠিনে শব্দের বেগ Kundt এর পদ্ধতি অনুসারে নির্ণয় করা যায় (পরে বর্ণিত হইয়াছে)

৩২। **শব্দের বেগের দৃষ্টান্ত ঃ** (ক) বায়ু অপেক্ষা তরল ও কঠিনে শব্দের বেগ বেশী। সেই জন্য কোন শব্দ আমরা বায়ু অপেক্ষা কঠিন ও তরলেব মধ্য দিয়া শীঘ্র শীঘ্র শুনিতে পাই। কোন কাঠ বা ধাতব বোর্ডের উপর আস্তে আস্তে আঁচড় কাটিলে এবং বোর্ডে কাণ রাখিলে কাঠের মধ্য দিয়া শব্দ শুনা যায় কিন্তু কাণ উঠাইয়া লইলে বায়ুর মধ্য দিয়া শব্দ শুনা যায় না। মাটিতে কাণ রাখিলে অনেক দূর হইতে দ্রুতগামী ঘোড়ার খুরের শব্দ, কিংবা রেলগাড়ীর শব্দ খুব স্পষ্ট শুনা যায়। কিন্তু কাণ উঠাইয়া লইলে শব্দ শুনা যায় না।

জলের নলে ছিদ্র হইয়াছে কিনা দেখিবার জন্য মিস্ত্রিরা মধ্যে মধ্যে জলের নলের গায়ে লোহার দণ্ডের এক প্রান্ত লাগাইয়া দণ্ডের অপর প্রান্ত কাণে দেয় অর্থাৎ দণ্ডের দ্বারা জলের নল হইতে কাণ পর্য্যন্ত একটা কঠিন দ্রব্যের সংযোগ

রক্ষা করে। ইহাতে দূরের ছিদ্র দিয়া জল পতনের শব্দ শুনা যায়। ডাক্তারেরা হৃৎ পরীক্ষক যন্ত্রকে (stethescope) রোগীর বুকের উপর চাপিয়া ধরে। ইহাতে কাণ ও বুক বা হৃৎপিণ্ডের সঙ্গে যন্ত্রটি কঠিনের সংযোগ রক্ষা করে। ইহাতে ফুসফুসের নিশ্বাস প্রশ্বাসের শব্দ ও হৃৎপিণ্ডের স্পন্দনের শব্দ স্পষ্ট শুনা যায়। একটি ঘরের চারিপাশে দুইটি প্রাচীরের মধ্যে বাতাস রাখিলে ঘর হইতে শব্দ বাহিরে শুনা যায় না।

(খ) **Hydrophone :** এই যন্ত্রের দ্বারা জলের মধ্যে বহু দূরের শব্দ স্পষ্টভাবে শুনা যায়। এই যন্ত্রের সাহায্যে ডুবো জাহাজ, জলে নিমজ্জিত হিমশৈল কিংবা অন্যান্য দ্রব্যাদির দূরত্ব জানা যায়। ইহাতে জলের মধ্যে নিমজ্জিত একটি Microphone গ্রাহক (reciever) থাকে। গ্রাহকের সঙ্গে একটি সুগ্রাহী ধাতব পর্দা (diaphragm) থাকে। পর্দায় শব্দতরঙ্গ আসিয়া আঘাত করে।

৩৩। কয়েকটি মাধ্যমে শব্দের বেগ :

গ্যাসে (N.T.P.)	মিটার		
		লোহা ও কাঁচ	৫০০০ মিঃ
বায়ু (শুষ্ক)	৩৩১·৭		
$t°c$তে বায়ু	৩৩১·৭+·৫৪t	তামা	৩৬০০ মিঃ
হাইড্রোজেন —	১২৬২	ইস্পাত	৫১০০ মিঃ
অক্সিজেন —	৩১৬	রবার	৩০-৬০ মিঃ
জল ($t°C$) =	১৩৯০+৩ ৩t		

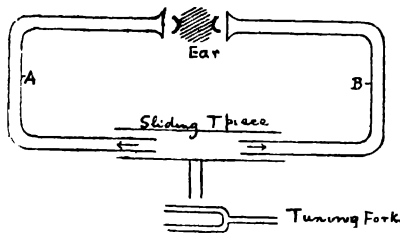
৩৪। বায়ু-প্রবাহ ও শব্দের বেগ। (Wind and Velocity of Sound)

আমরা দেখিতে পাই যে দিকে হাওয়া বহিতেছে সেদিকে শব্দ অনেকদূর পর্য্যন্ত শুনা যায় কিন্তু বায়ু প্রবাহের বিপরীতদিকে খুব বেশীদূর আওয়াজ পৌঁছায় না। ইহার কারণ নিম্নলিখিত চিত্রের দ্বারা বোঝান যায়।

বায়ুর শান্ত অবস্থায় অর্থাৎ বায়ু প্রবাহ না থাকিলে শব্দের উৎপত্তি স্থলকে কেন্দ্র করিয়া তরঙ্গমুখ অর্ধগোলকের আকারে প্রবাহিত হয় এবং শব্দ-শক্তি গোলকের ব্যাসার্ধের দিকে প্রবাহিত হয়, শব্দের তীব্রতা (intensity) দূরত্বের

বর্গফলের ব্যাস্তানুপাতে কমিয়া যায়। অর্থাৎ ২০০ গজ দূরে শব্দের তীব্রতা ১০০ গজ দূরের শব্দের তীব্রতার এক চতুর্থাংশ হয়। যদি বায়ু-প্রবাহ থাকে তাহা হইলে শব্দ তরঙ্গের বেগ বায়ু প্রবাহের বেগের দ্বারা বর্ধিত হইয়া বায়ুর অভিমুখে বেশী বেগে প্রবাহিত হয়। (১৭নং চিত্র)

৩৫। **শব্দের দিক ঃ** আমাদের কাণ শব্দের দিক অর্থাৎ কোনদিক হইতে শব্দ আসিতেছে তাহা নির্ণয় করার পক্ষে খুব উপযোগী যন্ত্র। যদি বাম দিক হইতে শব্দ আসে তাহা হইলে বাম কাণে বেশী শুনি।

পরীক্ষা ঃ ১৯নং চিত্রে দুইদিকে দুইটি পাতলা লোহার নল A ও B এবং মাঝে একটি T নল আছে। T নলটি এপাশে ওপাশে সরান যায় যাহাতে শব্দের পথের দৈর্ঘ্য দুইদিকে কম বা বেশী হয়। T নলের সামনে একটি কম্পমান Tuning fork রাখ। A ও B নলের এই প্রান্তে দুই কাণ রাখ। এখন যদি T-নলকে খানিকটা বামদিকে সরিয়ে রাখ মনে হইবে বাম দিক থেকে শব্দ আসিতেছে।

১৯নং চিত্র

৩৬। **শব্দ হইতে কোন বস্তুর দূরত্ব নির্ণয়** (Sound Ranging) মনে কর S বিন্দুতে একটি কামান আছে। এখন কামানের শব্দ শুনিয়া কামানের অবস্থান বাহির করিতে হইবে। P_1, P_2, P_3 তিনটী দূরে দূরে অবস্থিত স্থান। এই তিন স্থানে কামানের শব্দ শোনা যাইতেছে। মনে কর P_1 স্থানে P_2 স্থান অপেক্ষা কামানের শব্দ পৌছাইতে ১ সেকেণ্ড দেরী হইল অতএব $SP_1 - SP_2 =$ ১১০০ ফুট প্রায়। মনে কর ইহার পর P_3তে শব্দ পৌছাইতে ½ সেকেণ্ড দেরী হইল। অতএব $SP_1 - SP_3 =$ ৫৫০ ফুট। $SP_1 - SP_2 =$ ১১০০ ফুট। এই সর্ত হইতে বোঝা যায় যে S বিন্দু একটি পরাবৃত্তের (hyperbola) উপর অবস্থিত এবং $SP_1 - SP_3 =$ ৫৫০ ফুট আর একটি পরাবৃত্তের উপর অবস্থিত অতএব দেখা যায় যে এই দুইটী পরাবৃত্ত যেখানে ছেদ করিয়াছে সেই ছেদ বিন্দুতে কামান অবস্থিত হইবে। এইরূপে সমুদ্রে জাহাজের অবস্থান নির্ণয় করা যায়।

১। অঙ্ক : A man sets his watch by the noon whistle of a factory at a distance of 1 mile. How many seconds is his watch slower than the time piece of the factory (V. of sound is 332 metres per second) (P. U. 1941)

কারখানার বাঁশীর শব্দ ১ মাইল আসিতে যে সময় লয় তাহা সেই ব্যক্তি গণনা করে নাই। সুতরাং এই সময় তাহার ঘড়ি কম চলিবে।

৩৩২ মিটার = ১০৮৮ ফুট এবং ১ মাইল = ৫২৮০ ফুট

∴ ১ মাইল আসিতে শব্দের সময় লাগে $\frac{৫২৮০}{১০৮৮}$ = ৪.৮৫ সেকেণ্ড

∴ ঘড়ি ৪.৮৫ সেকেণ্ড স্লো হইবে।

২। A piece of stone is dropped into a well and the splash is heard after 1.45 seconds. Calculate the depth of the well. (V = 332 metres per second). (P. U. 1919)

মনে কর কূপের গভীরতা = x মিটার এবং ঢিলের পতনের সময় = t

∴ জলে ঢিলের পতনের শব্দ জলতল হইতে কূপের মুখে পৌঁছাইতে (১.৪৫ − t) সেকেণ্ড লয়। ∴ x = শব্দের বেগ V × সময় t = V(১.৪৫ − t)

আবার $x = \frac{1}{2}gt^2$. (প্রথম খণ্ড ২০ অণুচ্ছেদ ১৫ পৃঃ দেখ)

∴ V(১.৪৫ − t) = $\frac{1}{2}gt^2$ ∴ ৩৩২(১.৪৫ − t) = $\frac{1}{2}$ × ৯.৮১ × t^2

(কারণ g = ৯৮১ মিঃ) বা ৩৩২ × ১.৪৫ − ৩৩২t = ৪.৯t^2

বা ৪.৯t^2 + ৩৩২t − ৪৮১.৪ = 0 ∴ t = ১.৪২ সেঃ

∴ কূপের গভীরতা x = ৩৩২(১.৪৫ − ১.৪২) = ৩৩২ × .০৩ = ৯.৯৬ মিটার

প্রশ্ন।

1. A stone is dropped into a well 240 ft. deep and sound's impact is heard 4.1 secs. later. Find the velocity of sound. (D. U. 1929)

[Ans. 1044 ft. per sec.]

2. Explain fully how the velocity of sound in open air has been determined.

If the velocity of sound in air at O°C. and 76 cm. of mercury pressure is 330 metres per sec., Calculate the velocity at 27°C. and 74 cm. pressure. (coeff. of expansion of air = 0·003665) (C. U. 1936).

[Ans. 346·3 cm per sec.]

3. Give Newton's formula for the velocity of sound. What correction has been suggested by Laplace and why ?

Discuss the effects of change of temperature and pressure on the velocity of sound. (P. U. 1915 ; C. U. 1937.)

4. How will you determine the velocity of sound in air ? Will the result be the same when strong wind is blowing ?

How will you eliminate the effect due to wind ? Will the result be the same in summer and in winter ? Give reasons for your answer. (C. U. 1931)

5. State the law connecting the velocity of sound through a gas with its density. Compare the velocities of sound in hydrogen and oxygen under similar conditions. (C. U. 1912)

6. How can the velocity of sound in atmospheric air be measured ? Give any two methods. How is the velocity affected by changes of pressure and temperature ?

(C. U. 1917, '37, '41. A. U. 1945, '46 *Cf.* P. U. 1921, '30, '40, '43).

7. Indicate how you could find the distance of a storm by noting temperature of the air and the interval between the flash of lightning and the sound of thunder coming from the storm.

What evidence could you give that the velocity of sound is practically independent of the amplitude and frequency of the air vibrations. (P. U. 1934).

8. A cannon is fired from a station A at the top of a mountain and observers are placed at two points B and C equidistant from A. B is at the top of another mountain, while C lies in the

valley between the two. Assuming the temperature of air to fall as we descend, explain which of the observers will hear the cannon first? (P. U. 1922)

10. An observer sets his watch by the sound of a signal gun fired at a distant tower. He finds that his watch is slow by two seconds. Find the distance of the tower from the observer. Temperature of air during observation is 15°C and the velocity of sound in air at 0°C is 332 m/secs. (P. U. 1939).

শব্দের প্রতিফলন ও প্রতিসরণ

৩৭। আলোক ও শব্দ তরঙ্গের তুলনা ঃ (ক) আলোক তরঙ্গ **তির্যক** তরঙ্গ, শব্দ তরঙ্গ সংকোচন ও তনুভবনের **অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ**। (খ) দুই তরঙ্গই উৎপত্তি স্থানকে কেন্দ্র করিয়া চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে। (গ) আলোক তরঙ্গের বেগ খুব প্রচণ্ড, সেকেণ্ডে ১৮৬০০০ মাইল। শব্দ তরঙ্গের বেগ খুব কম, সেকেণ্ডে মাত্র ১১০০ ফুট। (ঘ) আলোকের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য খুব ছোট, শব্দের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য খুব বড়। (ঙ) সুবিধার জন্য সরল রেখা দ্বারা আলোক ও শব্দ তরঙ্গের পথ প্রকাশিত হয়। এই সরল রেখাগুলিকে আলোক ও শব্দ রশ্মি (light and sound rays) বলে। (মনে রাখিবে আলোক বা শব্দ তরঙ্গ সত্যসত্যই এই রূপ সরল রেখার সমষ্টি নয়।) (চ) আলোক ও শব্দ তরঙ্গ নির্দিষ্ট নিয়মানুসারে প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত হয় কিন্তু তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের বিরাট পার্থক্যর জন্য প্রতিফলন ও প্রতিসরণের অবস্থা বিভিন্ন হয়। যথা শব্দের বেলায় প্রতিফলক ও প্রতিসরণতল খুব বড় হওয়া চাই এবং এই তলগুলি আলোকের তল অপেক্ষা কম চক্‌চকে হইলেও চলে। (ছ) আলোক-তরঙ্গ শূন্য দিয়া যায়, শব্দ-তরঙ্গ শূন্য দিয়া যায় না। (জ) আলোক ও শব্দ তরঙ্গের ব্যতিচার হয়। (ঝ) সূর্যালোক যেমন অনেকগুলি বিভিন্ন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের (বর্ণের) আলোকের সমষ্টি, সাধারণ শব্দ অনেক রকম ছোট বড় অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের সমষ্টি। তরঙ্গের কম্পনাঙ্ক যত বেশী হইবে তার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য তত ছোট হইবে। শব্দের কম্পনাঙ্ক যত বাড়ে স্বরগ্রাম তত উঁচুতে উঠে। বড় তরঙ্গ-

দৈর্ঘ্যের শব্দ কাণ দিয়া ধরা যায়। ছোট তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের শব্দ **সুগ্রাহী শিখা** (sensitive flame) দ্বারা ধরা যায় :—

পরীক্ষা : B নল দিয়া শব্দ আসিতেছে। A হইল একটি গ্যাসের শিখা নরম স্বরের (ছোট তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের শব্দ) শব্দ কাণে শোনা যাইলেও শিখার আন্দোলনে বেশ ভালভাবে বোঝা যায়।

Sensitive flame

Gas

২০নং চিত্র

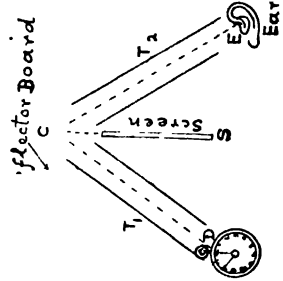
(ঞ) আলোক তরঙ্গ সরল পথে গমন করে, শব্দ তরঙ্গ সরল পথে গমন করে এবং বাধা পাইলে সামান্য বাঁকিয়াও যায়। ইহার কারণ—তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য যত বড় হয় তরঙ্গ তত বাঁকিয়া যায়। শব্দের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বেশী (১'৫ সেঃ মিঃ হইতে ১১ মিটার) বলিয়া ইহা বাঁকিয়া যায়। ছোট তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের শব্দ অনেকটা সরল রেখায় গমন করে।

ঘড়ির শব্দের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য খুব ছোট বলিয়া ঘড়িকে বিভিন্ন শব্দের পরীক্ষায় স্বনক বা শব্দের উৎপত্তি-স্থল হিসাবে ব্যবহার করা যায়।

৩৮। শব্দের প্রতিফলন ঃ

(ক) **প্রতিফলক তলের প্রকৃতি ঃ** ভাল প্রতিফলনের জন্য প্রতিফলক তলের ক্ষেত্রফল তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের তুলনায় বেশ বড় হওয়া চাই। শব্দ-তরঙ্গ আলোক-তরঙ্গের চেয়ে অনেক বড়। শ্রবণযোগ্য (audible) শব্দ-তরঙ্গের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ¼" হইতে ৩৬ ফুট হয়। আলোক-তরঙ্গের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য এক ইঞ্চির $\frac{১}{১৬ \times ১০^{-৫}}$ ভাগ হইতে $\frac{১}{৩০ \times ১০^{-৫}}$ ভাগ হয়। অতএব আলোক তরঙ্গের অপেক্ষা শব্দ-তরঙ্গের প্রতিফলক তল বৃহত্তর হওয়া দরকার। আবার প্রতিফলক তল ততটা মসৃণ না হইলেও চলে। এই কারণে ইটের দেওয়াল, গাছের সারি, পাহাড়ের গা সহজেই শব্দ তরঙ্গ প্রতিফলিত করে। আলোকের তরঙ্গের ন্যায় শব্দ তরঙ্গও এক মাধ্যম হইতে অন্য মাধ্যমে আপতিত হইলে আপতিত তরঙ্গের খানিকটা দ্বিতীয় মাধ্যমের তল হইতে প্রতিফলিত হয়, খানিকটা দ্বিতীয় মাধ্যম কর্তৃক শোষিত হয় এবং খানিকটা দ্বিতীয় মাধ্যম অতিক্রম করিয়া চলিয়া যায়।

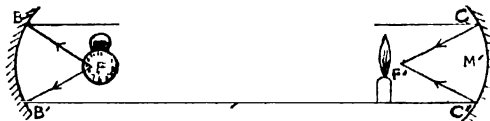
(খ) সমতল তলে প্রতিফলন :

পরীক্ষা : A B একখানি কাঠের সমতল প্রতিফলক বোর্ড লম্বভাবে ঝুলাও। একটি লম্বা সোজা ফাঁপা নল T_1কে বোর্ডের তলের সহিত C বিন্দুতে যে কোন নির্দিষ্ট কোণে ধর। আর একটি অনুরূপ T_2 নলকে এমনভাবে ধর যাহাতে T_2 নলের অক্ষ (axis) C বিন্দুর অভিমুখে থাকে। T_1 নলের D প্রান্তে একটি হাত-ঘড়ি ধর। T_2 নলের E প্রান্তে কাণ রাখিয়া T_2 নলের C প্রান্তকে স্থির রাখিয়া E প্রান্তকে আস্তে আস্তে ঘুরাইয়া যাও যাহাতে ঘড়ির শব্দ সর্বোচ্চ জোরে শোনা যায়। এই অবস্থায় দুই নলকে বন্ধনী দিয়া আটকাও। ঘড়ি ও কাণের মধ্যে সোজা শব্দ তরঙ্গের গতি বন্ধ করিবার জন্য একটি পর্দা S রাখ। ঘড়ি হইতে শব্দ তরঙ্গ নলের মধ্য দিয়া C বিন্দুতে আপতিত ও প্রতিফলিত হইয়া T_2 নল দিয়া কাণে পৌছায়। এখন মাপিয়া দেখিলে বোঝা যায় যে :—

২১নং চিত্র

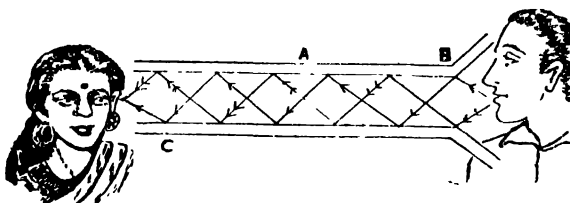
(ক) আপতন কোণ DCS অর্থাৎ T_1 নলের অক্ষের ও অভিলম্ব CS-এর মধ্যবর্তি কোণ এবং প্রতিফলন কোণ SCE অর্থাৎ T_2 নলের অক্ষের ও অভিলম্ব SCর মধ্যবর্তি কোণ সমান।

(খ) T_1 ও T_2 নলের অক্ষ (অর্থাৎ আপতিত ও প্রতিফলিত রশ্মি) এবং অভিলম্ব একই তলে অবস্থিত হয়।

(গ) **অবতল তলে প্রতিফলন :** দুইটি অবতল দর্পণ BB′ ও CC′ একটু দূরে দূরে মুখোমুখী ও সমাক্ষভাবে (co-axially) রাখ। BB′ দর্পণের প্রধান ফোকস Fতে একটি তীক্ষ্ণ স্বরের (of high pitch) বাঁশী বাজাও। CC′ দর্পণের সম্মুখে অক্ষ বরাবর একটি সুগ্রাহী শিখা (sensitive flame) এদিক ওদিক সরাইলে দেখিবে কোন এক বিন্দু F′তে শিখাটি ছোট হইবে। F′ বিন্দু CC′ দর্পণের প্রধান ফোকস। BB′ দর্পণের প্রধান ফোকস Fতে ঘড়ি রাখিলে CC′ দর্পণের প্রধান ফোকসে F′তে ঘড়ির আওয়াজ খুব জোরে শোনা যায়।

কাণ একটু সরাইলে কিংবা BB′ দর্পণ একটু ঘুরাইলে শব্দ শোনা যায় না ; কেন ? BB′ দর্পণের প্রধান ফোকস্ F হইতে শব্দ-তরঙ্গ উত্থিত হইয়া BB′ দর্পণে

২২নং চিত্র

প্রতিফলিত হইয়া সমান্তরাল হয় এবং সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ CC′ দর্পণে আপতিত হয় এবং প্রতিফলিত হইয়া F′তে কেন্দ্রীভূত হয়। সেইজন্য F′তে শব্দ জোর শুনা যায়।

(ঘ) প্রতিফলনের দৃষ্টান্ত ঃ (১) আমাদের কাণের ছিদ্রের মুখটা (pinna) অনেকটা অবতল। ইহাতে অনেকগুলি শব্দ-তরঙ্গ ছিদ্রের মুখে কেন্দ্রীভূত হয়। শব্দ জোর শোনা যায়। অনেক দূরেব শব্দ শোনার জন্য আমাদের হাতের তালুকে কাণের পিছনে গোল করিয়া ধরি। হাতের তালু অবতল দর্পণের মত কাজ করিয়া শব্দ-তরঙ্গকে কাণের ছিদ্রের মুখে কেন্দ্রীভূত করে। (২) শ্রবণ-যন্ত্র (Ear-trumpets কালা মানুষ যে যন্ত্রের সাহায্যে শব্দ শোনে;), কথা বলার নল

২৩নং চিত্র

(speaking tube), ডাক্তারের বুক দেখিবার প্রভৃতি যন্ত্রে (stethescope) একটি ফাঁপা ছোট ব্যাসের ধাতব নল A থাকে। ইহার একদিকে ফানেল B থাকে। ইহাকে mouth-piece বলে। Mouth-pieceকে শব্দের উৎপত্তি স্থলে রাখা হয়। শব্দ-তরঙ্গ নলের ভিতরে ঢুকিয়া চারিদিকে ছড়াইয়া না পড়িয়া নলের ভিতর আবদ্ধ থাকিয়া নলের গায়ে অনবরত প্রতিফলিত হইয়া অপর

মুখ C দিয়া বাহির হয়। C মুখে কাণ রাখিলে শব্দ জোরে শোনা যায়। (৩) বড় বড় বক্তৃতাহলে পরাবৃত্তিক (parabolic) কাঠের প্রতিফলক থাকে। ইহার প্রধান ফোকসে বক্তা দাঁড়াইয়া বক্তৃতা দেন। তাঁহার কথাগুলি প্রতিফলকে প্রতিফলিত হইয়া সমান্তরাল হইয়া বহুদূরের শ্রোতার কর্ণে প্রবেশ করে। কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়ের সিনেট হলে এইরূপ প্রতিফলক আছে। ঘরের বাঁকা ছাদ বা বাঁকা দেওয়ালে শব্দ-তরঙ্গ প্রতিফলিত হয়। বক্তৃতা হল শ্রোতাপূর্ণ থাকিলে শ্রোতাদের গাত্র হইতে শব্দ তরঙ্গ প্রতিফলিত হয়। অনেক সময় পর্দা টাঙ্গাইয়া শব্দের ব্যতিচার (interference) নিবারণ করা হয়।

(৪) **প্রতিধ্বনি** (Echo) :—

(i) **প্রতিধ্বনি কি :** প্রতিধ্বনি শব্দের **পুনরাবৃত্তি**। বক্তার কথা দূরের কোন তল (গৃহ বা বৃক্ষশ্রেণী বা প্রকাণ্ড দেওয়াল) হইতে প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় বক্তার কাণে পৃথকভাবে পৌছিলে দ্বিতীয় প্রতিফলিত শব্দকে **প্রতিধ্বনি** বলে। প্রথম মূল শব্দকে **ধ্বনি** বলে।

(ii) **প্রতিফলকের দূরত্ব :** ধ্বনি ও প্রতিধ্বনি পৃথকভাবে শুনিবার অনুকূল সর্ত দরকার। সাধারণতঃ দেওয়ালের খুব কাছে শব্দ করিলে তাহাও কাণে আসিয়া পৌছে কিন্তু উহা এত শীঘ্র আসিবে যে কাণ সে শব্দ গ্রহণ করে বটে কিন্তু মস্তিষ্কে কোন অনুভূতি জাগে না। কোন শব্দের অনুভূতি আমাদের মস্তিষ্কে প্রায় ১/১০ সেকেণ্ড পর্যন্ত বর্তমান থাকে। সময়ের এই ব্যবধানকে **শব্দ নির্বন্ধ** (persistence of sound sensation) বলে।

অতএব ১/১০ সেকেণ্ডের মধ্যে নূতন শব্দ কাণে আসিলে আমাদের কোন অনুভূতি হয় না। সাধারণতঃ শব্দ-বেগ ১১০০ ফুট/সেঃ ধরিলে ১/১০ সেকেণ্ডে শব্দ ১১০ ফুট ভ্রমণ করে, ৫৫ ফুট দূরে যদি শব্দ প্রতিফলিত হয় তাহা হইলে প্রতিফলিত শব্দ ১/১০ সেকেণ্ড পরে আমাদের কাণে পৌছায়। সেইজন্য ৫৫ ফুট দূরে কোনও দেওয়াল থাকিলে প্রতিধ্বনি শোনা যায়।

আমরা এক সেকেণ্ডে পাঁচটি পদাংশের (syllable) বেশী কথা স্পষ্টভাবে উচ্চারণ করিতে পারি না এবং কাণও এক সেকেণ্ডে পাঁচটির বেশী পদাংশ শুনিতে পায় না সুতরাং আমাদের এক পদাংশ উচ্চারণ করিতে ১/৫ সেঃ লাগে অতএব এক

পদাংশ উচ্চারণ করিবার পরক্ষণেই শব্দ যদি কাণে আসে তবে প্রতিধ্বনি স্পষ্টভাবে শোনা যায়। এই কারণে এক পদাংশ শুনিতে হইলে প্রতিফলককে কমপক্ষে ১১০ ফুট দূরে রাখা দরকার, কারণ ⅕ সেকেণ্ডে শব্দ প্রতিফলিত হইয়া কাণে পৌঁছাইবে। ⅕ সেকেণ্ডে শব্দ ২২০ ফুট গমন করে তাহা হইলে প্রতিফলকের দূরত্ব = $\frac{২২০}{২}$ = ১১০ ফুট। সেইরূপে দ্বিমাত্রিক (Disyllabic) শব্দের প্রতিধ্বনি শুনিতে হইলে প্রতিফলকের দূরত্ব ন্যূন পক্ষে ২২০ ফুট ও ত্রিমাত্রিক (Trisyllabic) শব্দের জন্য ৩৩০ ফুট হওয়া দরকার। সবক্ষেত্রেই কোন শব্দের (word) শেষ পদাংশের প্রতিধ্বনি স্পষ্ট শোনা যাইবে।

সুতরাং কোন শব্দে যদি n পদাংশ থাকে তবে প্রতিফলককে $n \times$ ১১০ ফুট দূরে রাখিলে শেষ পদাংশের প্রতিধ্বনি স্পষ্ট শোনা যাইবে।

(iii) **প্রতিধ্বনি দিয়া শব্দের বেগ মাপ:** মনে কর কোন দেওয়াল হইতে তুমি ১০০০ গজ দূরে দাঁড়াইয়া আছ। তোমার উচ্চারিত কথা প্রতিধ্বনিত হইয়া ফিরিয়া আসিতে ৬ সেকেণ্ড লাগিল।

∴ শব্দ-তরঙ্গ ৬ সেকেণ্ডে ২ × ১০০০ × ৩ = ৬০০০ ফুট গমন করিয়াছে।

∴ বেগ = ১০০০ ফুট।

(iv) **প্রতিধ্বনি শ্রেণী** (Series of echoes): দুই বা ততোধিক তল হইতে একই শব্দ পরপর প্রতিফলিত হইলে একই শব্দের বহু প্রতিধ্বনি পরপর শোনা যায়। বজ্রের প্রথম মূল শব্দ বিভিন্ন মেঘস্তরে কিংবা বিভিন্ন উষ্ণতার বায়ুস্তর হইতে প্রতিফলিত হইয়া এক সেকেণ্ডের দশমাংশের সময়ের কম ব্যবধানে অনেকগুলি প্রতিধ্বনি একটানা শব্দরূপে (মেঘের গুরুগুরু ধ্বনি rumbling of thunder) শোনা যায়।

(v) **প্রতিধ্বনির সাহায্যে সমুদ্র তলের গভীরতা নির্ণয়:** (Depth sounding by echo).

সমুদ্রের উপরের জাহাজ থেকে জাহাজের নিম্নদেশে একটি Hydrophone (microphone বিশেষ) নামিয়ে দেওয়া হয়। Hydrophoneএর নিকটে একটা ছোট রকম বিস্ফোরণ করা হয়; উপরোক্ত microphoneএ দুইটি শব্দ পাওয়া যায়—প্রথমটি বিস্ফোরণের ও দ্বিতীয়টি সমুদ্র তল হইতে বিস্ফোরণের

প্রতিফলিত শব্দ। তড়িৎ যন্ত্রের সাহায্যে এই দুইটি শব্দের সময় ব্যবধান জানা যায়। মনে কর ইহা t_1। সমুদ্রের জলে শব্দের বেগ = ৪৭১৪ ফুট/সেঃ।

$\therefore$ সমুদ্রের গভীরতা $= \frac{৪৭১৪}{২} \times t_1 = ২৩৫৭ \times t$ ফুট।

আজকাল Ice-bergএর উপস্থিতি সম্বন্ধে সঠিক জ্ঞান শব্দের প্রতিফলন পরীক্ষার দ্বারা পাওয়া যায়।

অঙ্ক : 1. A man stationed between parallel cliffs fires a gun. He hears the first echo after two seconds and the next after 5 seconds. What is his position between the cliffs and when he hears the first echo ? (A. U. 1919).

মনে কর শব্দের বেগ = V, প্রথম ও দ্বিতীয় শৃঙ্গ হইতে দর্শকের দূরত্ব = a ও b.

প্রথম প্রতিধ্বনি ২ সেকেণ্ড পরে শোনা যায় $\therefore ২ = \frac{২ \times a}{V}$ $\therefore V = a$

দ্বিতীয় প্রতিধ্বনি ৫ সেকেণ্ড পরে শোনা যায় $\therefore ৫ = \frac{২ \times b}{V}$ $\therefore V = \frac{২}{৫}b.$

$$\therefore \quad a = \frac{২}{৫}b \text{ বা } \frac{a}{b} = \frac{২}{৫}$$

দর্শকের অবস্থান দুই শৃঙ্গের মধ্যের দূরত্বকে ২ : ৫ অনুপাতে ভাগ করে। শব্দ-তরঙ্গ প্রথম বা দ্বিতীয় শৃঙ্গ হইতে প্রতিফলিত হইয়া পুনরায় দুইটির যে কোন একটি হইতে তৃতীয়বার প্রতিফলিত হইবে

$\therefore$ তৃতীয় প্রতিধ্বনি ৫ + ২ = ৭ সেকেণ্ড পর হইবে।

2. An engine is approaching a tunnel surmounted by a cliff and emits a short whistle when half a mile away. The echo reaches the engine after $4\frac{1}{2}$ seconds. Calculate the speed of the engine assuming the velocity of sound to be 1100ft. per second. (L. M.)

মনে কর এঞ্জিনের প্রথম অবস্থান = D, দ্বিতীয় অবস্থান (যেখানে বাঁশীর প্রতিধ্বনি শোনা গেল) = D_1, শৃঙ্গের অবস্থান = C

∴ DC = ½ মাইল = ২৬৪০ ফুট। ৪½ সেকেণ্ডে শব্দ তরঙ্গ ১১০০×৯/২ = ৪৯৫০ ফুট গমন করে ∴ $DC+D_1C$ = ৪৯৫০ ∴ D_1C = ৪৯৫০ − ২৬৪০ = ২৩১০ ফুট এবং DD_1 = (২৬৪০ − ২৩১০) = ৩৩০ ফুট

এঞ্জিন DD_1 দূরত্ব ৪½ সেকেণ্ডে যায় ∴ এঞ্জিনের বেগ = ৩৩০×২/৯ ফুট সেকেণ্ডে = ৫০ মাইল ঘণ্টায়

৪০। **প্রতিফলনে শব্দ তরঙ্গের প্রকৃতির পরিবর্তন** ঃ যদি কোনও বদ্ধ ও কঠিন পদার্থের উপর তল হইতে কিংবা ঘনতর মাধ্যমের উপরতল হইতে শব্দ-তরঙ্গ প্রতিফলিত হয় তাহা হইলে প্রতিফলিত তরঙ্গ একইরূপ থাকে অর্থাৎ সঙ্কোচন তরঙ্গ সঙ্কোচনরূপে প্রতিফলিত হয় ও তনুভবন তরঙ্গ তনুভবন হিসাবেই প্রতিফলিত হয় কিন্তু যদি প্রতিফলক নমনশীল হয় কিংবা দ্বিতীয় মাধ্যম যদি লঘুতর হয় তাহা হইলে প্রতিফলিত শব্দ তরঙ্গের প্রকৃতি পরিবর্তিত হয় অর্থাৎ সঙ্কোচন তরঙ্গ প্রতিফলিত হইয়া তনুভবন তরঙ্গে পরিবর্তিত হয় এবং তনুভবন তরঙ্গ সঙ্কোচনে পরিবর্তিত হয়। অর্থাৎ প্রতিফলিত তরঙ্গের প্রকৃতি প্রতিফলক (দ্বিতীয়) মাধ্যমের ঘনাঙ্কের উপর নির্ভর করে।

যদি একটি নলের মুখে শব্দ করা হয় এবং সেই নলের পশ্চাৎ দিক বদ্ধ থাকে তাহা হইলে দেখা যায় যে বদ্ধদিকে প্রতিফলিত শব্দ তরঙ্গের বিকৃতি ঘটে না, প্রকৃতি ঠিক থাকে। কিন্তু নলের শেষ ভাগ যদি খোলা থাকে তাহা হইলে দেখা যাইবে যে শব্দ তরঙ্গের প্রকৃতি পরিবর্তিত হইয়াছে।

যদি spiral স্প্রীংয়ের এক প্রান্ত কাঠের সঙ্গে আটকান থাকে এবং spiral এর খোলা প্রান্তে হঠাৎ ধাক্কা (push) দিয়া সঙ্কোচন তরঙ্গ উৎপন্ন করা যায় তবে বদ্ধ প্রান্তে প্রতিফলিত তরঙ্গ সঙ্কোচন তরঙ্গ হইবে। যদি spiralএর প্রান্ত টানা (pull) যায় তবে বদ্ধ প্রন্তে প্রতিফলিত তরঙ্গ তনুভবন তরঙ্গ হইবে। যদি spiral এর দুই প্রান্ত খোলা থাকে তবে উল্টা ফল হয়।

৪১। **শব্দ-তরঙ্গের প্রতিসরণ** (Refraction of Sound Waves) : যখন শব্দ-তরঙ্গ এক মাধ্যম হইতে অপর মাধ্যমে প্রবেশ করে তখন তাহার বেগ পরিবর্তিত হয়। এই কারণে, আলোকের যেমন প্রতিসরণ ঘটে, শব্দের

বেলায় ও সেইরূপ প্রতিসরণ ঘটিয়া থাকে। আলোক প্রতিসরণের সময় যে যে নিয়ম মানিয়া চলে শব্দের বেলায়ও সেই সকল নিয়ম প্রযোজ্য।

পরীক্ষা: একটি Carbon Dioxide পূর্ণ লেন্স আকৃতির রবারের বেলুন লও। Carbon Dioxide বায়ু অপেক্ষা ঘনতর। ইহার একদিকে সামান্য দূরে একটি ছোট ঘড়ি রাখ এবং বিপরীত দিকে একই রেখায় এবং একই দূরত্বে কাণ রাখ। এখন কাণে জোরে শব্দ আসিবে। এখানে রবার বেলুনটি উভতল lens এর কাজ করিতেছে।

উচ্চতা বৃদ্ধির সহিত বায়ুর ঘনাঙ্ক হ্রাস পায় ও উচ্চতা হ্রাসের সহিত ঘনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়। দিনের বেলায় উষ্ণতা বৃদ্ধির জন্য পৃথিবীর নিকটস্থ বায়ু উষ্ণ হয় এবং উহার ঘনাঙ্ক কমিয়া যায় কিন্তু উপরিস্থিত বায়ুর ঘনাঙ্ক বেশী হইয়া থাকে। সুতরাং দিনের বেলা শব্দ তরঙ্গ ক্রমশঃ উপর দিকে প্রতিসৃত হইয়া যায়। ভূপৃষ্ঠে আর ফেরে না। বেশী বেলা হইলে শব্দ বেশী দূর শোনা যায় না কিন্তু রাত্রে অবস্থা ঠিক বিপরীত ঘটে। রাত্রে বায়ুর উচ্চতা কমিয়া যায় ও ঘনাঙ্ক বাড়িয়া যায় উপরিস্থিত বায়ুর ঘনাঙ্ক অপেক্ষা ভূমির নিকটস্থ বায়ুর ঘনাঙ্ক বেশী হয়। সেইজন্য শব্দ-তরঙ্গ ভূপৃষ্ঠ হইতে উপর দিকে ক্রমশঃ লঘুতর মাধ্যমে প্রবেশ করে এবং প্রত্যেক স্তরে অভিলম্ব হইতে ক্রমশঃ বাঁকিতে বাঁকিতে পুনরায় ভূপৃষ্ঠে ফিরিয়া আসে। (মরীচিকার সহিত তুলনা কর)। সেইজন্য অনেক দূরের শব্দ রাত্রে স্পষ্ট শোনা যায়।

প্রশ্ন

1. Describe an experiment to demonstrate the reflection of sound. (C. U. 1946).

2. What is an echo ? (C. U. 1946. Pat. '47)

Why is a succession of echoes sometimes observed ?

A man fires a gun on the sea-shore in front of a line of cliffs, and an observer, equidistant from the cliffs and 300 ft. away from the firer, notices that the echo takes twice as long to reach him as does the report. Find by calculation or graphically the distance of the man from the cliffs. (Pat. 1922).

3. Explain how echoes are produced. How may the phenomenon be used to measure the velocity of sound in air ? (L.M.)

4. Explain the production of echoes. An echo repeated six syllables. The velocity of sound is 1120 ft. per sec. What was the distance of the reflecing surface ?

[Ans. 672 ft.]

5. How is echo employed to measure depths of oceans ? (C. U. 1946).

6. A man standing between two parallel cliffs fires a rifle. He hears the first echo after $1\frac{1}{2}$ secs., then a second one $2\frac{1}{2}$ secs. after the shot, then a third echo. Explain how these three echoes are produced. Calculate how many seconds elapsed between the shot and the third echo, and calculate the distance apart of the two clifls. (C. U. 1944).

[Ans, $t = 4$ secs ; Distance $= 2 \times$ Vel. of sound.]

অনুনাদ (Resonance)

৪২। **স্বাভাবিক কম্পন** (Free Vibration): প্রত্যেক বস্তুই যে কোন আকারের বা প্রকৃতির হউক না কেন আঘাত প্রাপ্ত হইলে নিজস্ব কম্পনাঙ্ক ও পর্যাবৃত্তকালে কম্পিত হইয়া থাকে। এই কম্পনকে বস্তুর **স্বাভাবিক কম্পন** বলা হয়। এই কম্পনের সংখ্যা বা পর্যায়কাল বস্তুর আকার, ভর ও স্থিতি-স্থাপকতা প্রভৃতির গুণের উপর নির্ভর করে। এই পর্যায়কালকে বস্তুর **স্বাভাবিক পর্যায়কাল** (Natural Period) বলে। টেবিল বা Tuning fork এর উপর আঘাত করিলে ইহারা কাঁপিতে থাকে। দোলককে এক পার্শ্বে লইয়া ছাড়িয়া দিলে দোলক দুলিতে থাকে। সমুদ্রের উপর জাহাজও দুলিতে থাকে। নদীর উপর ভাসমান সেতু দুলিতে থাকে। এই সকল বস্তুর দোলনের পৃথক পৃথক স্বাভাবিক পর্যায়কাল বা স্বাভাবিক কম্পনাঙ্ক থাকে।

৪৩। **উদ্দীপিত কম্পন** (Forced Vibration): যখন কোন পরিবর্তনশীল বল নির্দিষ্ট সময়ের পর একই পরিমাণ ও অভিমুখ সম্পন্ন হয়

তখন ইহাকে **পর্যাবৃত্ত বল** (periodic force) বলে। এই নির্দিষ্ট সময়কে বলের পর্যায়কাল বলে। কোন বস্তু কোন প্রকার পর্যাবৃত্ত বল প্রয়োগে কম্পিত হইতে থাকিলে এবং ঐ বলের পর্যায়কাল বস্তুর স্বাভাবিক পর্যায়কাল হইতে বিভিন্ন হইলে বস্তুটি প্রথমে নিজস্ব পর্যায়কাল অনুসারে কম্পিত হইবে কিন্তু কয়েকবার অনিয়মিত ভাবে বিভিন্ন বিস্তারে দুলিবার পর প্রযুক্ত বল বস্তুটিকে নিজের পর্যায়কাল অনুসারে দুলিতে বাধ্য করিবে এবং যতক্ষণ বল ক্রিয়া করিবে ততক্ষণে বস্তুটি প্রযুক্ত বলের পর্যায়কাল অনুসারে কম্পিত হইবে। এই কম্পনকে **উদ্দীপিত কম্পন** বা **পরবশ কম্পন** বলে। পরবশ কম্পনের বিস্তার খুব সামান্য হয়।

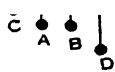
দৃষ্টান্ত ঃ (ক) এক সেকেণ্ডে পর্যায়কালের একটি দোলক লও। উহার পিণ্ডের উপর ১½ সেঃ অন্তর আঘাত দাও। প্রথম আঘাতে পিণ্ডটি নিজের পর্যায়কাল (১ সেকেণ্ড) অনুসারে দুলিবে। ১½ সেকেণ্ড পরে দ্বিতীয় আঘাত পড়ে অর্থাৎ দ্বিতীয় আঘাতে পিণ্ডের দোলনের মাত্রা বাড়িয়া যায় কিন্তু তৃতীয় আঘাত পিণ্ডের দোলনের বিপরীত দিকে হয় বলিয়া পিণ্ডটি থামিয়া যায়। এইরূপে প্রথমে পিণ্ডটি কয়েকবার বিভিন্ন বিস্তারে (amplitude) দুলিবার পর খুব সামান্য বিস্তারে ১½ সেকেণ্ড পর্যায়কালে (প্রযুক্ত আঘাতের পর্যায়কালে) দুলিতে থাকে।

(খ) কম্পমান Tuning forkএ হাত দিয়া ধরিলে সামান্য দূর হইতে শব্দ প্রায় শুনা যায় না। কিন্তু কম্পমান Tuning fork কে লম্বভাবে টেবিলের উপর ধরিলে শব্দ খুব প্রবল হয়। ইহার কারণ fork এর কম্পন হাতলের মধ্য দিয়া টেবিলের উপর সঞ্চালিত হয় এবং টেবিল fork এর পর্যায়কালে কম্পিত হইতে থাকে এবং টেবিলের উপর তলের সংস্পর্শে বিস্তৃত বায়ুস্তর কম্পিত হইতে থাকে। সেইজন্য শব্দের প্রাবল্য বাড়িয়া যায়।

(গ) প্রত্যেক বাদ্যযন্ত্রে শব্দের প্রাবল্য বাড়াইবার জন্য একটি করিয়া কাঠের ফাঁপা বাক্স (Sounding board) থাকে। যথা শব্দ মাপক যন্ত্র (sonometer), পিয়ানো, বেহালা, সেতার ইত্যাদি। এই সকল যন্ত্রের তার বা পত্রী প্রথমে কম্পিত হয়। তারপরে সেই কম্পনের পর্যাবৃত্ত বল কাঠের

বাক্সকে এবং সঙ্গে সঙ্গে বাক্সের বাহিরের ও ভিতরের বায়ুকে উদ্দীপিত কম্পনে বাধ্য করে।

৪৪। **অনুনাদ** (Resonance) : যখন প্রযুক্ত পর্যাবৃত্ত বলের পর্যায়কাল বস্তুর স্বাভাবিক পর্যায়কালের সমান হয় তখন বস্তুটি প্রযুক্ত বল প্রয়োগের সঙ্গে সঙ্গেই বড় বিস্তারের সহিত কম্পিত হইতে থাকে। এই ঘটনাকে **অনুনাদ** বলে। অনুনাদ উদ্দীপিত কম্পনের একটি বিশেষ রূপ।

পরীক্ষা : চারিটি দোলক A, B, C, D একটি টানকরা বাঁধা নমনীয় (flexible) রবারের নলের উপর হইতে ঝুলাও। A আর Bএর দৈর্ঘ্য সমান। অতএব ইহাদের পর্যায়কালও সমান। A অপেক্ষা C একটু ছোট, D একটু বড়। A কে নলের দৈর্ঘ্যের অভিলম্বতলে দোলাও। এখন A দোলকের আলম্ব বিন্দুতে পর্যাবৃত্ত বল ক্রিয়া করিবে। রবারের নলও একই পর্যায়কালে কিন্তু অল্প বিস্তারে কম্পিত হইবে এবং এই নলের কম্পন B, C, D তিনটি দোলকে সঞ্চালিত হইবে। এখন দেখা যাইবে A দোলার সঙ্গে সঙ্গেই Aর সহিত একই বিস্তারে ও পর্যায়কালে B কম্পিত হইতে থাকে। কিন্তু ইহার বিস্তার Aর প্রাথমিক বিস্তারের চেয়ে বড় হইতে থাকে। কারণ A ও B এর দৈর্ঘ্য সমান হওয়াতে ইহাদের পর্যায়কালও সমান হয়। Bএর কম্পনকে **অনুনাদ** বলে। Cএর দৈর্ঘ্য ছোট হওয়াতে Cএর পর্যায়কালও কম হয়। Dএর দৈর্ঘ্য বেশী হওয়াতে ইহার পর্যায়কালও বেশী হয়। অতএব দেখা যায় C ও D প্রথমে আস্তে আস্তে দুলিতে থাকে, তারপরে থামিয়া যায়, আবার শেষকালে Aর পর্যায়কাল অনুসারে দুলিতে থাকে, কিন্তু ইহাদের বিস্তার কম হয়। C ও Dএর কম্পনকে **উদ্দীপিত বা পরবশ কম্পন** বলে।

২৪নং চিত্র

দৃষ্টান্ত : (ক) যখন কোন বাদ্যযন্ত্রে বিভিন্ন তারগুলির স্বাভাবিক পর্যায়-কাল সমান হয় তখন একটি তারকে কম্পিত করিলে অপর তারগুলিও পরপর অনুনাদ ভাবে কম্পিত হইবে।

(খ) **অনুনাদ বাক্স** (Resonance Box) : Tuning fork গুলি

সাধারণতঃ ফাঁপা কাঠের বাক্সের উপর বসান থাকে। ইহাদিগকে অনুনাদ বাক্স বলে। এই বাক্সের আয়তন এরূপ করা হয় যে বাক্সের মধ্যস্থিত আবদ্ধ বায়ুর একটি স্বাভাবিক পর্যায়কাল থাকে যাহা বাক্সের কাঠের প্রযুক্ত পর্যায়কালের সমান হয়। যখন Tuning fork কে কম্পিত করা হয় তখন ইহার কম্পন বাক্সের কাঠকে একই পর্যায়কালে কম্পিত হইতে বাধ্য করে। কাঠের উদ্দীপিত কম্পনের পর্যায়কাল ও আবদ্ধ বায়ুর পর্যায়কাল সমান হওয়াতে আবদ্ধ বায়ু অনুনাদিত হয়। ইহাতে শব্দ খুব জোর হয়।

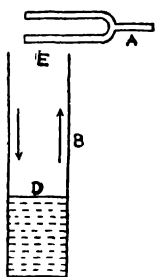
(গ) অনুনাদ বাক্সের উপর স্থাপিত একই পর্যায়কালের দুইটি Tuning fork পাশাপাশি রাখা হইল। একটিকে আঘাত করিয়া কিছুক্ষণ পরে হাত দিয়া থামান হইল। দেখা যাইবে দ্বিতীয় forkটিকে আঘাত করা না হইলেও তাহা কম্পিত হইতেছে।

(ঘ) মনে কর দুইটি দেওয়াল ঘড়ির একটি আস্তে চলে, একটি জোরে চলে। উহাদিগকে একটি কাঠের উপর রাখ। উহাদের দোলকের কম্পন কাঠের মধ্য দিয়া পরস্পরের উপর ক্রিয়া করিবে। ইহার ফলে দ্রুতগামী ঘড়ির দোলকের পর্যায়কাল কমিতে থাকে এবং ধীর গামী ঘড়ির দোলকের পর্যায়কাল বাড়িতে থাকে যতক্ষণ না উভয়ের পর্যায়কাল সমান হয়। প্রত্যেক দোলকের কম্পন অনুনাদিত কম্পন।

(ঙ) অনুনাদ অনেক সময় বিপদের কারণ হইয়া থাকে। মনে কর একটি দোদুল্যমান সেতুর পর্যায়কাল ১ সেকেণ্ড। মনে কর একদল সৈন্য সেতুর উপর দিয়া তালে তালে পা ফেলিয়া যাইতেছে। মনে কর সৈন্যদের পা ফেলার পর্যায়কাল ১ সেকেণ্ড। এখন সেতুটির পর্যায়কাল ও সৈন্যদের পা ফেলার পর্যায়কাল সমান হওয়াতে অনুনাদের নীতি অনুসারে সেতুটি ভীষণ ভাবে প্রকম্পিত হইতে থাকিবে। ইহাতে সেতুটি ভাঙ্গিয়াও যাইতে পারে। সেইজন্য সেতু পার হইবার সময় সৈন্যদের পা ফেলা বন্ধ থাকে। সমুদ্রে ভাসমান জাহাজের পর্যায়কাল ও ঢেউয়ের স্বাভাবিক পর্যায়কাল সমান হইলে জাহাজ ভীষণ ভাবে দুলিতে থাকে। তখন জাহাজের গতির অভিমুখ বদলাইলে দোলন কমিয়া যায়।

(চ) বায়ু স্তম্ভের অনুনাদ (Resonance of the Air Colunin)

কোন নলের মুখে কম্পমান Tuning fork ধরিলে বিশেষ অবস্থায় নলের ভিতরের বায়ু অনুনাদিত হয়।

পরীক্ষা ঃ একটি কম্পমান Tuning fork Aকে B নলের E মুখে ধর। নলের মধ্যে আস্তে আস্তে জল ঢাল। দেখিবে এক সময় fork এর আওয়াজ বেশ জোর হইতেছে। মনে কর এই অবস্থায় বায়ু স্তম্ভের দৈর্ঘ্য হইল ED। আরও বেশী জল ঢালিলে শব্দ আর শুনা যায় না। এখন ED বায়ু স্তম্ভের স্বাভাবিক পর্যায়কাল fork এর পর্যায়কালের সমান হয় সেইজন্য নলের ভিতরের বায়ুস্তম্ভ অনুনাদিত হয়। এই বিষয় বিশদভাবে পরে আলোচিত হইবে।

২৫নং চিত্র

৪৫। **অনুনাদী** (Resonators) :—সঙ্গীতের শব্দ বিশ্লেষণ করিবার জন্য Helmholtz (১৮২১-১৮৯৪) বায়ুপূর্ণ অনুনাদীর উদ্ভাবন করিয়াছিলেন। ইহারা পিতলের হাঁড়ির মত আকার বিশিষ্ট, সামনে ও পিছনে দুই দিকে দুইটি ছিদ্র আছে। সামনের দিকে ছিদ্রটি একটি ছোট নলের আকারের; উহাকে মুখ বলা হয়। পশ্চাৎ দিকের ছিদ্রটি বেশ ছোট এবং ঐটি কাণের কাছে রাখা হয়। এই গোলাকার হাঁড়িগুলির আকার অনেক রকমের হইয়া থাকে। প্রত্যেকটির ভিতরে যে বায়ু থাকে তাহার এক একটি নির্দিষ্ট স্বাভাবিক কম্পনাঙ্ক থাকে। যখন কোনও বহু কম্পনাঙ্ক বিশিষ্ট মিশ্র শব্দ আসিয়া এইরূপ অনুনাদীর মুখে পতিত হয় তখন অনুনাদীর ভিতরের বায়ু কম্পিত হইবে যদি ঐ মিশ্র শব্দের মধ্যে অনুনাদীর স্বাভাবিক কম্পনাঙ্কের অনুরূপ কোনও শব্দ বর্তমান থাকে। এইরূপে বিভিন্ন অনুনাদীর সাহায্যে কোনও মিশ্র শব্দকে বিশ্লেষণ করিয়া উহার মধ্যে কোন কম্পনাঙ্ক বিশিষ্ট শব্দ আছে তাহা নিরূপণ সম্ভব।

২৬নং চিত্র

৪৬। **কম্পনাঙ্ক-মাপক :** পরবর্তী তড়িৎ প্রবাহের (alternating current) কম্পনাঙ্ক নির্ধারণ করার জন্য অনুনাদের সাহায্য লওয়া হয়। ইহার

সাহায্যে কম্পনাঙ্ক-মাপক (frequency meter) তৈয়ারী হয়। কম্পনাঙ্ক-মাপক কতকগুলি ছোট বড় লৌহ পত্রী (Reed) একটি তড়িৎ প্রবাহ চুম্বকের সামনে দাঁড় করান থাকে। ঐ চুম্বকটির ভিতর দিয়া পরবর্তী বিদ্যুৎ যাহার কম্পনাঙ্ক নির্ধারণ করা দরকার তাহা পাঠান হইয়া থাকে; এবং যে পত্রীর স্বাভাবিক পর্যায়কাল ঐ পরবর্তী বিদ্যুতের পর্যায়কালের সমান তাহা কাঁপিয়া উঠে। এইরূপ কম্পনাঙ্ক নির্ধারিত হয়।

প্রশ্ন

1. Describe experiments to illustrate the principle of free and forced vibrations and give illustration in case of sound.

2. What is meant by resonance? Give mechanical and accoustical illustrations. [All. U. 1916, '29]

3. Explain why and when the handle of a vibrating tuning fork pressed against a thin wooden board, the intensity of sound is greatly increased? (C. U.—1915, '36 ; cf. Pat. U. 1920, '31)

4. Explain clearly the difference between Forced Vibration and Resonance. Give mechanical and accoustical illustration. (All. U.—1909)

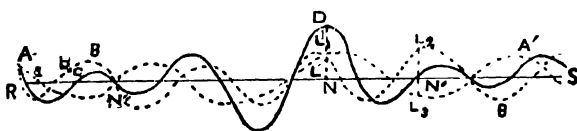
5. A vibrating tuning fork is placed at the mouth of an open jar and water is poured into the jar gradually. Explain what will happen. (C. U.—1918, '25, '29 ; P. U.—1931)

6. Explain the principle of resonance. (C. U.—1929, All. U.—1919, '29 ; Pat. U. 1919, '30).

7. Explain the meaning of resonance. Describe precisely how resonance is produced in a pipe of suitable length, closed at one end, when a tuning fork is sounded over the open end. Why does the resonance cease when the length of the pipe is altered? (P. U.—1916, '29)

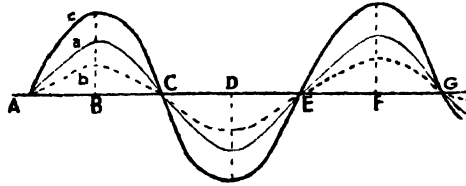
শব্দ-তরঙ্গের একত্রীভবন বা আরোপণ (Superposition) ও ব্যতিচার (Interference)

৪৫। **আরোপণ:** যদি একই মাধ্যমের ভিতর দিয়া দুইটি তরঙ্গ শ্রেণী যুগপৎ অতিক্রম করে তবে মাধ্যমের যে কোনও কণা যুগপৎ দুইটি তরঙ্গ দ্বারা আলোড়িত হয়। যে কোন মুহূর্তে তরঙ্গদ্বয়ের সম্মিলিত প্রভাবে ঐ কণার সরণ বা বিস্তার (displacement or amplitude) তরঙ্গদ্বয়ের পৃথক বিস্তারের লব্ধির সমান হইবে। যদি কোন মুহূর্তে তরঙ্গ দুইটির বিস্তার কণার মধ্যক অবস্থার একই দিকে হয় তবে সেই মুহূর্তে কণার বিস্তার তাহাদের যোগফলের সমান হইবে; যদি বিপরীত দিকে হয় তবে তাহাদের বিয়োগ ফলের সমান হইবে। এই ঘটনাকে **তরঙ্গের আরোপণ** বা **একত্রীভবন** বলে। (বলের লব্ধির নীতি দেখ; প্রথম খণ্ড—৩১ অনুচ্ছেদ)। ইহাকে সরণ ছকের (displacement graph) সাহায্যে বোঝান যায় যথা:—

মনে কর বিন্দুযুক্ত (dotted) দুইটি ছক a ও b দুই তরঙ্গের সরণের পৃথক ছক; মনে কর যে কোন N বিন্দুতে দুইটি তরঙ্গের সরণ NL ও NL′ এবং ইহারা মধ্যক

২৭ নং চিত্র

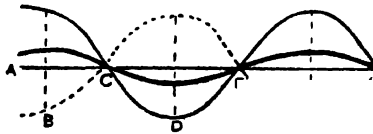
অবস্থার একই দিকে সংঘটিত হয় সুতরাং N কণার লব্ধি সরণ = তরঙ্গের সরণের যোগফল। ∴ N বিন্দুস্থ মাধ্যমের কণার বিস্তার = NL + NL′ = ND। N′ বিন্দুতে দুই তরঙ্গের সরণ $N'L_2$ ও $N'L_3$। ইহারা পরস্পর বিপরীতমুখী ও সমান বলিয়া উহাদের লব্ধি সরণ শূন্য হয় অর্থাৎ N′ বিন্দুতে কণাটি গতিশূন্য হয়। ইহা মধ্যক অবস্থা RS উপর স্থির থাকে। N″ বিন্দুতে দুই তরঙ্গ বিপরীতমুখী ও সরণ শূন্য বলিয়া N″ বিন্দুস্থ কণা গতিশূন্য হয়। এইরূপ মোটা রেখা দ্বারা প্রকাশিত C ছক কণার সরণ (দুই তরঙ্গের লব্ধি সরণ) প্রকাশ করে। একটি মানুষকে দুইটি বিপরীত দিক হইতে সমান বলের সহিত টানিলে মানুষটি

স্থির থাকে। N" বিন্দুতে কণা ঠিক সেইরূপ স্থির থাকে। কোন বিন্দুতে বিভিন্ন দশার তরঙ্গের সম্মিলিত ফল বিভিন্ন প্রকার হয়। যথা:—

(ক) যখন দুইটি তরঙ্গের একই কম্পনাঙ্ক হয় এবং দুই তরঙ্গ উৎপত্তি স্থল হইতে একই সময়েই একই দিকে যাত্রা করে তখন উহাদের সরণ-ছক একই আকারের (form) হয়। চিত্রে A বিন্দু হইতে *a* ও *b* তরঙ্গ একই দিকে

২৮নং চিত্র

যাত্রা করে। উহাদের কম্পনাঙ্ক ও দশা একই হয়। B ও F বিন্দুতে একই সময়ে দুইটি তরঙ্গশীর্ষ এবং D বিন্দুতে দুইটি তরঙ্গপাদ পৌছায় সুতরাং সব সময়েই উহাদের লব্ধি সরণ উহাদের যোগফলের সমান। সুতরাং শব্দটি খুব জোর হইবে। মোটা রেখা c দ্বারা লব্ধির সরণ-ছক দেখান হইয়াছে। এখানে দুই তরঙ্গের দশার পার্থক্য সব সময়ে $=0°$. এখানে লব্ধি তরঙ্গের কম্পনাঙ্ক এক হয় কিন্তু সরণ দুই তরঙ্গের সরণের যোগফলের সমান হয়।

(খ) যখন দুইটি তরঙ্গের কম্পনাঙ্ক একই হয় কিন্তু উৎপত্তি স্থল হইতে বিপরীত দিকে যাত্রা করে অর্থাৎ উহাদের দশা বিপরীত হয় অর্থাৎ দশার পার্থক্য

২৯নং চিত্র

১৮০° হয় তখন সব সময়েই উহাদের লব্ধির সরণ হইবে উহাদের বিয়োগফলের সমান। সুতরাং শব্দটির জোর কম হইবে। মোটা রেখা দ্বারা লব্ধির সরণ রেখা দেখান হইয়াছে।

আমরা পূর্বে দেখিয়াছি কোন কম্পমান কণার দশা উৎপত্তি-স্থল হইতে ইহার দূরত্ব ও তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে। যদি কণা দুই উৎপত্তি-স্থল হইতে সমান দূরে হয় কিংবা দুই দূরত্বের পার্থক্য $= n \times \frac{1}{2}\lambda$ (n = কোন জোড় সংখ্যা) হয় তবে দুই তরঙ্গের দরুণ কণার কম্পন একই দশায় হইবে এবং শব্দ জোর হইবে। যদি দুই দূরত্বের পার্থক্য $= n \times \frac{1}{2}\lambda$ (n = বেজোড় সংখ্যা) তবে কণার দশা বিপরীত হইবে এবং শব্দ কম জোড় হইবে।

(গ) **ব্যতিচার :** যদি দুই তরঙ্গের উৎপত্তি স্থলের কম্পনাঙ্ক ও বিস্তার একই হয় এবং যদি কোন কণায় উহারা অর্ধ পর্য্যায়কাল আগুপিছু উপস্থিত হয় তবে সেই কণার উপর উভয় তরঙ্গের প্রভাব বিপরীতমুখী হওয়ার জন্য কণা স্থির থাকিবে। এইভাবে দুই শব্দ তরঙ্গের যুগপৎ আবির্ভাবে নীরবতার সৃষ্টি হইবে। এই শব্দাভাবকে **ব্যতিচার** বলে।

পুকুরে এক সঙ্গে দুইটি ঢিল কাছাকাছি ফেলিলে দুই প্রস্থ বৃত্তাকার তরঙ্গ উত্থিত হইবে। তরঙ্গ দুইটির পরস্পরের মিলিত প্রভাবে কতকগুলি রেখ বরাবর জলকণা স্থির দেখা যাইবে। এই অবস্থাকে **ব্যতিচার** বলে। কতকগুলি রেখা বরাবর জলকণা খুব জোরে কম্পিত হইতে দেখা যাইবে। শব্দ তরঙ্গের বেলায় যেখানে সংকোচন ও তনুভবন তরঙ্গ মিশিয়া যায় সেখানেই শব্দ উৎপন্ন হয় না।

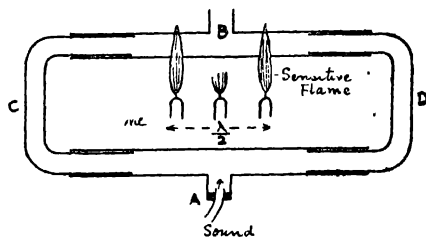
৪৬। দুইটি শব্দ তরঙ্গের ব্যাতিচারের সর্তাবলী (Conditions of Interference of two sound waves) :—

(১) দুইটি তরঙ্গ সর্ব বিষয়ে একই প্রকার হওয়া চাই, অর্থাৎ উহাদের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য, কম্পনাঙ্ক ও বিস্তার একই হওয়া চাই।

(২) দুইটি তরঙ্গের একই আকার হওয়া চাই, ঐ তরঙ্গ দুটির বিস্তার একই পথে হওয়া দরকার।

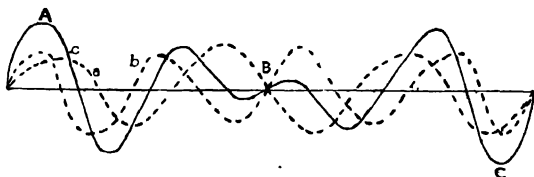
৪৭। শব্দ ব্যাতিচারের পরীক্ষা (Experimental Demonstration) —ব্যাতিচারের উপরোক্ত সর্তাবলী পূরণ করিবার জন্য কোন দুইটি স্বনক পাওয়া সম্ভবপর নয়। সেই জন্যই Quinke একই কম্পমান বস্তু হইতে উদ্ভূত তরঙ্গকে একটি বিন্দুতে দুই ভাগ করিয়া দুই অংশকে দুইটি বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের

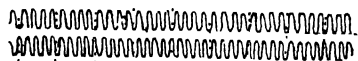
পথে প্রবাহিত করিয়া এবং উহাদের পুনরায় মিলন ঘটাইয়া তাহাদের মধ্যে ব্যাতিচার উৎপন্ন করিয়াছিলেন।

পরীক্ষা :—A, B দুইটি T নল। C ও D দুইটি বাঁকানল A ও Bর মধ্যে সহজে প্রবেশ করিতে পারে। C ও D কে সমান দূরত্বে রাখিলে A C B পথ ও A D B পথ সমান থাকে কিন্তু C, D অসমান দূরত্বে সরাইলে দুইটি পথ কম-বেশী হইবে। A মুখে একটি কম্পমান Tuning fork রাখা হইল কিংবা Galton বাঁশী বাজান হইল। মনে কর উহার কম্পনাঙ্ক=৪০০০। B তে একটি sensitive flame রাখা হইল। A C B ও A D B পথ যখন দৈর্ঘ্যে সমান থাকে তখন B তে Sensitive flameটি তরঙ্গ দ্বারা আলোড়িত হয়। দুই পথে একই প্রকার তরঙ্গ আসিয়া B তে **সমান দশায়** উপস্থিত হয় অতএব আলোকশিখা B তে সর্বাপেক্ষা বেশী জোরে আলোড়িত হয়। কিন্তু C নলটি বাহিরে টানিয়া এমন অবস্থায় আনা যায় যে A C B পথে যে তরঙ্গ B তে পৌছায় তাহার দশা A D B পথের তরঙ্গের ঠিক বিপরীত হয়। ইহার ফলে B তে স্থাপিত Sensitive flame মোটেই আলোড়িত হয় না। অর্থাৎ উহারা পরস্পর প্রশমিত হয়। এখানেই ব্যতিচার উৎপন্ন হয়। এই অবস্থায় দেখা যায় যে A C B ও A D B পথের ব্যবধান fork এর শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ঠিক অর্ধেক।

৩০নং চিত্র

যদি A C B−A D B দূরত্ব আমরা সূক্ষ্ম ভাবে মাপিতে পারি তাহা হইলে উহা হইবে $\lambda/2$ অতএব $v=n\lambda=4000\times2(ACB-ADB)$। এইরূপে বায়ুর মধ্যে তরঙ্গ-বেগ বাহির করা চলিতে পারে।

৪৮। **স্বরকম্প** (Beats) :—যদি একই মাধ্যমের ভিতর দিয়া দুইটি একই তীব্রতার (intensity) ও একই রকমের তরঙ্গ প্রবাহিত হয় এবং উহাদের কম্পনাঙ্ক সামান্য তফাৎ থাকে তাহা হইলে উহাদের সম্মিলিত প্রভাবে শব্দের

প্রবলতা (loudness) পর্যাবৃত্তভাবে (periodically) কখনও বাড়ে কখনও কমে। প্রাবল্যের এইরূপ পর্যাবৃত্ত হ্রাসবৃদ্ধি বিশিষ্ট শব্দের নাম **স্বরকম্প**। দুইটি তরঙ্গের আরোপণের ফলে পর্যায়ক্রমে শব্দ প্রবল ও মৃদু হইয়া থাকে; যখন দুইটি তরঙ্গের শীর্ষ একই স্থানে উপস্থিত হয় তখন দুইটি তরঙ্গের মিলনের ফলে তরঙ্গের বিস্তারের বৃদ্ধি ঘটে, শব্দ খুব জোর হয়। যখন একটি তরঙ্গ অপরটির বিপরীত দশায় উপস্থিত হয় তখন তরঙ্গের বিস্তারের হ্রাস ঘটে,

৩১নং চিত্র

তখন শব্দ খুব কমিয়া যায়। A ও C তে দুই তরঙ্গ এক দশায় থাকে সুতরাং A ও C তে তরঙ্গের বিস্তারের সর্বোচ্চ বৃদ্ধি ঘটিয়াছে। B বিন্দুতে দুই বিপরীত দশায় থাকে সুতরাং B তে তরঙ্গের বিস্তারের সর্বোচ্চ হ্রাস ঘটিয়াছে। আমরা জানি শব্দের প্রবলতা তরঙ্গের বিস্তারের উপর নির্ভর করে সুতরাং A ও C তে শব্দ খুব প্রবল হয়। B তে শব্দ খুব কম হয়। A হইতে B তে শব্দ আস্তে আস্তে কমে এবং B হইতে C তে শব্দ আস্তে আস্তে বাড়ে। এইরূপ পর্যাবৃত্ত হ্রাস-বৃদ্ধি সম্পন্ন শব্দকে **স্বরকম্প** বলে। ৩১নং চিত্রে (a) ও (b) দুইটি উপাংশ (component) তরঙ্গ dotted রেখার দ্বারা সূচিত হইল এবং উহাদের লব্ধি c তরঙ্গ মোটা রেখার দ্বারা সূচিত হইল।

Beat Notes

৩২নং চিত্র

এখানে দেখ লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার A হইতে B পর্য্যন্ত পর্যাবৃত্ত ভাবে কমিয়া গিয়াছে এবং B হইতে C পর্য্যন্ত পর্যাবৃত্ত ভাবে বাড়িয়া গিয়াছে।

৪৯। **স্বরকম্পের সংখ্যাঃ (ক) পরীক্ষা দ্বারাঃ**—A ও C এর মধ্যে সময়ের ব্যবধানে অর্থাৎ পর পর দুইটি সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন শব্দের সময়ের ব্যবধানে একটি তরঙ্গ অপর তরঙ্গের চেয়ে একটি কম্পন বেশী করে. সেইজন্য

C তে আবার দুইটি তরঙ্গ একই দশায় আসে। A ও C এর মধ্যে শব্দকে একটি স্বরকম্প বলে। সুতরাং ১ সেকেণ্ডে যতবার এইরূপ ব্যবধান ঘটিবে ততবার স্বরকম্প হইবে। নিম্নলিখিত উদাহরণ হইতে ইহা বুঝা যায়:—

মনে কর দুইটি Tuning fork এর কম্পনাঙ্ক যথাক্রমে ২৮৪ ও ২৮৮। মনে কর উহারা একত্রে কম্পিত হইল এবং মনে কর দুইটি fork.ই একসঙ্গে একদশায় (যেমন A তে) কম্পন. আরম্ভ করিল অর্থাৎ দুইটি fork এর দুইটি সংকোচন কিংবা দুইটি তনুভবন তরঙ্গ একসঙ্গে কাণে পৌছাইল এবং শব্দ জোর হইল। $\frac{1}{4}$ সেকেণ্ড পরে উভয়ের পূর্ণ কম্পনের সংখ্যা বা কম্পনাঙ্ক হইবে যথাক্রমে ৭১ ও ৭২। ইহা হইল চক্রের C এর অবস্থা। এই $\frac{1}{4}$ সেকেণ্ডে উভয়ের কম্পন একবার বিপরীতমুখী হয় (যেমন B তে) এবং পুনরায় সমদশায় উপনীত হয়। অতএব এই $\frac{1}{4}$ সেকেণ্ডে একটি স্বরকম্প শুনা যায় সুতরাং ১ সেকেণ্ডে ৪টি স্বরকম্প শুনা যাইবে অর্থাৎ এক সেকেণ্ডে **স্বরকম্পের সংখ্যা = দুই তরঙ্গের কম্পনাঙ্কের পার্থক্য** = ২৮৮ – ২৮৪ = ৪

(খ) **গাণিতিক হিসাব:** যদি x_1 ও x_2 দুইটি তরঙ্গের সরণ (displacement) হয় তাহা হইলে $x_1 = a\cos mt$, $x_2 = b\cos(m+n)t$

$\frac{m}{2\pi}$ ও $\frac{m+n}{2\pi}$ দুইটি স্বরের কম্পনাঙ্ক এবং a, b উহাদের বিস্তার; mএর তুলনায় n ছোট। দুইটি তরঙ্গের আরোপণের ফলে যে লব্ধি সরণ হয় মনে কর তাহা $x_1 + x_2 = c\cos(mt+\phi)$

অতএব $c\cos(mt+\phi) = a\cos mt + b\cos(m+n)t$

$\therefore \quad c\cos mt.\cos\phi - c\sin mt.\sin\phi = \cos mt(a + b\cos nt)$

$-\sin mt\,(b\sin nt)$: এই সমীকরণ সকলে সময়েই প্রয়োজ্য

$-c\sin\phi = -b\sin nt.$ এবং $c\cos\phi = a + b\cos nt$

$$c^2\sin^2\phi + c^2\cos^2\phi = c^2 = (a+b\cos nt)^2 + (b\sin nt)^2.$$
$$= a^2 + b^2(\cos^2 nt + \sin^2 nt) + 2ab\cos nt.$$
$$= a^2 + b^2 + 2ab\cos nt$$
$$\therefore \quad c = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab\cos nt}$$

এবং $\tan\phi = \dfrac{b\sin nt}{a + b\cos nt}.$

এই সমীকরণ হইতে দেখিতে পাই যে c এর বিস্তার সময়ের সহিত পরিবর্তিত হয়, এবং c গরিষ্ঠ হইবে যখন $\cos nt = 1$।

$nt = 0, 2\pi, 4\pi, 6\pi$ ইত্যাদি $t = 0, \frac{2\pi}{n}, \frac{4\pi}{n}, \frac{6\pi}{n}$.

$$\text{এবং} \quad t = 0, \frac{2\pi}{n}, \frac{4\pi}{n}, \text{ ইত্যাদি} \quad \therefore c = a + b.$$

ইহা হইতে দেখা যায় যে, গরিষ্ট বিস্তারে অবস্থার মধ্যে সময়ের ব্যবধান $= \frac{2\pi}{2}$. তাহা হইলে দেখিতেছি যে স্বরকম্পের সংখ্যা $= \frac{n}{2\pi}$. উহাই দুইটি স্বরের কম্পনাঙ্কের বিয়োগ ফলের সমান।

৫০। স্বরকম্পের উপকারিতা : স্বরকল্প (ক) forkএর কম্পনাঙ্ক নিরূপণে ও (খ) বাদ্য যন্ত্রের সুর বাঁধিতে প্রয়োগ করা হয়।

(ক) **স্বরকম্পের সাহায্যে forkএর কম্পনাঙ্ক নির্ণয়** (Determination of frequency by beats) :

পরীক্ষা : দুইটি fork লও। মনে কর একটির কম্পনাঙ্ক n। অপটির কম্পনাঙ্ক বাহির করিতে হইবে। দুইটি fork একই সঙ্গে বাজাও এবং একটি stop ঘড়ির সাহায্যে ১০ সেকেণ্ডে কতগুলি স্বরকম্প হয় তাহা গণনা কর। তাহা হইতে ১ সেকেণ্ডে কতবার হয় তাহা বাহির কর। মনে কর স্বরকম্পের সংখ্যা প্রতি সেকেণ্ডে m। এখন অজ্ঞাত forkএর কম্পনাঙ্ক $n+m$ কিংবা $n-m$ হইবে। মনে কর $P = n + m$ এবং $Q = n - m$। এখানে $P < n$ $Q < n$। এইবার পরিচিত forkটির বাহুর উপর সামান্য মোম লাগাও। ইহার ফলে বাহু ভারি হইবে এবং কম্পনাঙ্ক কমিয়া যাইবে। এখন আবার দুইটি fork বাজাইয়া প্রতি সেকেণ্ডে স্বরকম্প নির্ণয় কর। ইহা P বা Q হইতে সামান্য কম হইবে। যদি অপরিচিত forkএর কম্পনাঙ্ক $n+m$ হয় তবে নূতন স্বরকম্প সংখ্যায় বাড়িবে কিন্তু যদি কম্পনাঙ্ক $n-m$ হয় নূতন স্বরকম্প সংখ্যায় কমিবে অতএব নূতন স্বরকম্পের সংখ্যা কমা-বাড়া হইতে অপরিচিত forkএর কম্পনাঙ্ক

নিরূপিত হয়। মনে রাখিবে forkএর ওজন বাড়িলে কম্পনাঙ্ক কমে, ওজন কমিলে (যথা উখা দিয়া ঘষিলে) কম্পনাঙ্ক বাড়ে।

(খ) **বাদ্য যন্ত্রের স্বর বাঁধা** (tuning): মনে রাখিবে যখন দুই স্বরের মধ্যে কম্পনাঙ্কের প্রভেদ খুবই কম থাকে তখন স্বরকম্প শোনা যায়। যদি কম্পনাঙ্কের প্রভেদ ১৫ বা ১৬র বেশী হয় তবে পৃথক স্বরকম্প শোনা যায় না। তৎপরিবর্তে বেসুরো (discordant) আওয়াজ শোনা যায়। আবার যখন দুই স্বরের কম্পনাঙ্ক সমান হয় তখন স্বরকম্প শোনা যায় না। এই নীতি অনুযায়ী বাদ্য যন্ত্রের স্বর বাঁধা হয়।

অঙ্ক: 1. Two tuning forks A and B, frequency of B being 512 are sounded together and it is found that 5 beats per second are heard. A is then filed (উখা দিয়া ঘষা.) and it is found that beats cccur at shorter intervals. Find the frequency of A. (A. U. 1916. C. U. 1936).

A forkকে ঘষিলে এই forkএর ওজন কমে, পর্যায়কাল কমে এবং কম্পনাঙ্ক বাড়ে। কিন্তু স্বরকম্পের ব্যবধান কমে অর্থাৎ Aএর কম্পনাঙ্ক বাড়াতে প্রতি সেকেণ্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা বাড়ে সুতরাং Aএর কম্পনাঙ্ক Bএর কম্পনাঙ্কের চেয়ে বেশী।

মনে কর Aএর কম্পনাঙ্ক $= n$ $\therefore$ $n-512=5$ $\therefore$ $n=517$.

2. A fork unknown frequency when sounded with one of frequency 288 gives 4 beats per sec. and when loaded with a piece of wire again gives 4 beats per sec. How do you account for this and what was the unknown frequency ? (P. U. 1945).

মনে কর অজ্ঞাত কম্পনাঙ্ক $= n$. প্রথমে এই কম্পনাঙ্ক Bএর কম্পনাঙ্কের চেয়ে ৪ বেশী ছিল। ভার বাড়াইবার পর এই কম্পনাঙ্ক Bএর কম্পনাঙ্কের চেয়ে ৪ কম হইল অর্থাৎ (২৮৮ – ৪) = ২৮৪ হইল $\therefore$ n = ২৮৮ + ৪ = ২৯২

৫১। **চল-তরঙ্গ ও স্থির-তরঙ্গ** (Progressive and Stationary Waves):

(ক) **চল তরঙ্গ**: মাধ্যমের কোন অংশে কম্পন সৃষ্টি করিলে সেই কম্পন যদি তরঙ্গাকারে মাধ্যমের শেষ প্রান্ত পর্যন্ত চলিয়া যায় এবং কোন

একস্থানে স্থির না থাকে তবে সেই তরঙ্গকে **চল-তরঙ্গ** বলে। একখণ্ড লম্বা দড়ির এক প্রান্তে ঝাঁকুনি দিলে ঝাঁকুনি তরঙ্গাকারে অপর প্রান্তে পৌছায়। যখন মাধ্যমের ভিতর দিয়া চল তরঙ্গ প্রবাহিত হয় তখন মাধ্যমের প্রত্যেক কণিকা সরল সমঞ্জস গতিতে মধ্যক বিন্দুর দুই পার্শ্বে আন্দোলিত হয়। প্রত্যেক কণিকা তরঙ্গের গতির অভিমুখে সকল দশার মধ্য দিয়া যাইয়া থাকে। প্রত্যেক কণিকা এক সময়ে হয় ত তরঙ্গপাদে থাকে, তাহার পর তরঙ্গের গতির সহিত উহা ক্রমশঃ উপর দিকে উঠিতে থাকে এবং যখন তরঙ্গশীর্ষ সেই কণিকার ভিতর দিয়া চলে তখন উহা সর্বোচ্চস্থানে স্থাপিত হয়। আবার অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের বেলায় প্রত্যেক কণিকা মধ্যক বিন্দু হইতে তরঙ্গের গতি পথে আন্দোলিত হয়। যখন কণিকা সঙ্কোচন অবস্থায় পড়িয়া থাকে তখন কণিকা তরঙ্গ গতির দিকে মধ্যক বিন্দু হইতে সর্বাপেক্ষা বেশী দূর গমন করে এবং তনুভবন অবস্থায় উল্টাদিকে সর্বাপেক্ষা বেশী দূর গমন করে। **দৃষ্টান্তঃ** শব্দ-তরঙ্গ অনুদৈর্ঘ্য চল-তরঙ্গ এবং জলের উপর তরঙ্গ তির্যক চল-তরঙ্গ।

(খ) স্থির তরঙ্গঃ যখন দুইটি অনুরূপ তরঙ্গ অর্থাৎ সমান তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য, সমান কম্পনাঙ্ক এবং সমান বিস্তার বিশিষ্ট দুইটি তরঙ্গ কোনও আবদ্ধ মাধ্যমের মধ্য দিয়া সমান বেগে একই সরল রেখায় পরস্পরের বিপরীত দিক হইতে প্রবাহিত হয় তখন তরঙ্গ দুইটির একত্রীভবনে ঐ তরঙ্গ দুইটির গতি রুদ্ধ হয়। লব্ধি তরঙ্গ একটি **স্থির তরঙ্গ** হয়। এইরূপ তরঙ্গে কণাগুলি এক জায়গায় থাকিয়া কম্পিত হয় বটে কিন্তু কণা হইতে কণায় তরঙ্গের অগ্রগমন হয় না। দুই তরঙ্গের বিস্তার ও তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য এক হওয়াতে মাধ্যমের স্থানে স্থানে একটি তরঙ্গ অন্য তরঙ্গের ক্রিয়াকে বিনষ্ট করে। ঠিক সেইখানে কম্পমান কণার বিস্তার সর্বনিম্ন হয়, চাপ পরিবর্তন সর্বাধিক বেশী হয় এবং সেই স্থানের কণা স্থির থাকে। এই সকল বিন্দুকে **স্থির-বিন্দু** (node) বলে। আবার কোন কোন স্থানে উভয় তরঙ্গ পরস্পর পরস্পরকে সাহায্য করে এবং সেই সেই স্থানের কণার কম্পনের বিস্তার সর্বাপেক্ষা বেশী হয় কিন্তু চাপ পরিবর্তন কম হয়। এই সকল স্থানকে **স্পন্দন-বিন্দু** (antinode) বলে। দুই স্পন্দন-বিন্দুর বা দুই স্থির-বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব $= \frac{1}{2} \times$ তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য এবং একটি স্থির-বিন্দু ও পরবর্তি স্পন্দন-বিন্দুর মধ্যে

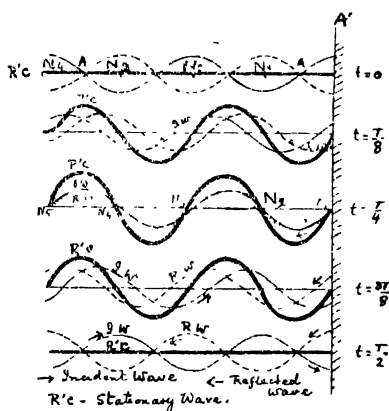
দূরত্ব = ¼ × তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য। স্পন্দন-বিন্দুতে অবস্থিত কণার কম্পনের বিস্তার সর্বাপেক্ষা বেশী হয় তৎপরে স্থির-বিন্দু পর্যন্ত মাধ্যমের যত কণা থাকে তাহারা ক্রমহ্রসমান বিস্তারের সহিত কম্পিত হয়। এই বিস্তার স্থির-বিন্দুতে আসিলে শূন্য হয়।

অতএব এক কথায় বলিতে গেলে স্পন্দন-বিন্দু সর্বাপেক্ষা বেশী বিস্তার বা গতি সম্পন্ন বিন্দু ও স্থির-বিন্দু বিস্তার বা গতি শূন্য বিন্দু।

দৃষ্টান্ত : (ক) একটি তরঙ্গ যখন কোনও কঠিন বস্তুর উপর হইতে লম্বভাবে (normally) ধাক্কা খাইয়া প্রতিফলিত হয় তখন তরঙ্গ যে রেখায় আপতিত হইয়াছিল সেই রেখায় প্রতিফলিত হয়। এইরূপ প্রতিফলিত তরঙ্গ ও আপতিত (incident) তরঙ্গ মিলিয়া স্থির তরঙ্গের উদ্ভব হয়। প্রতিফলিত তরঙ্গ আপতিত তরঙ্গের সকল প্রকার অনুরূপ ও বিপরীত অভিমুখী হয়। (নং চিত্র)

(খ) নলাকৃতি বাদ্যযন্ত্রের বায়ুকণার অনুদৈর্ঘ্য কম্পন।

(গ) দুই ধারে বদ্ধ তারের তির্যক কম্পন।

৫২। (ক) **ছকের সাহায্যে স্থির তরঙ্গ ঃ** এই চিত্রে স্থির তরঙ্গের উদ্ভব দেখান হইল। আপতিত তরঙ্গ সরু রেখার দ্বারা প্রকাশিত হইয়াছে এবং উহা বাম হইতে দক্ষিণে প্রবাহিত হইতেছে। এই তরঙ্গটি ডান দিকে একটি কঠিন প্রতিবন্ধক NN'র সম্মুখীন হইয়াছে। উহার ফলে প্রতিফলিত তরঙ্গ সৃষ্ট হইয়াছে এবং ঐ তরঙ্গটি বাম দিকে প্রবাহিত হইতেছে। উগ বিন্দু চিহ্নিত রেখার দ্বারা প্রকাশিত হইয়াছে। ঐ দুই তরঙ্গের আরোপণের ফলে উদ্ভূত লব্ধি তরঙ্গ মোটা রেখার দ্বারা প্রকাশিত হইয়াছে।

৬৩নং চিত্র

N_1, N_2, N_3 স্থির বিন্দু সকল সর্ব সময়েই স্থির অবস্থায় থাকে। তুইটি স্থির-বিন্দুর মাঝে এক একটি স্পন্দন-বিন্দু বর্তমান আছে।

মনে কর T = তরঙ্গের পর্যায়কাল।

(ক) $t=0$ হইলে তুইটি তরঙ্গ আরোপণের ফলে মাধ্যম স্থির অবস্থা প্রাপ্ত হইয়াছে।

(খ) $t=\frac{T}{8}$ হইলে একটি তরঙ্গ অপরটির $\lambda/_8$ পর্যায়কাল পশ্চাতে থাকে।

এইরূপে $t=\frac{T}{4}, 3\frac{T}{8}, \frac{T}{2}$ হইলে যে ছক পাওয়া যায় তাহা দেওয়া হইল।

(খ) **গণিতের সাহায্যে:** তুইটি তরঙ্গের আরোপণের ফলে যদি কোনও বিন্দুর সরণ y ধরা যায় তাহা হইলে

$$y=y_1+y_2=a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)+a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt+x)$$

y_1, y_2 – তুইটি বিপরীতগামী তরঙ্গের কোনও এক মুহূর্তের সরণ, a – বিস্তার v – তরঙ্গ-বেগ, x – মূল-বিন্দু হইতে দূরত্ব, λ – তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য

$$y=y_1+y_2=2a\sin\frac{2\pi}{\lambda}vt\cos\frac{2\pi}{\lambda}x$$

এই সমীকরণ হইতে দেখা যায় যে, যে কোনও মুহূর্তে অর্থাৎ t এর মান যাই হোক না কেন, যদি $x=(2n+1)\lambda/_4$, এবং n কোন পূর্ণ সংখ্যা হয়, তাহা হইলে y সরণ $=0$.

অতএব দেখা যায় যে

যখন $n=0$, তখন $x=\lambda/_4$

যখন $n=1$, তখন $x=3\lambda/_4$

অতএব তুইটি স্থির-বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব $\frac{3\lambda}{4}-\lambda/_4=\lambda/_2$.

৫৩। চল-তরঙ্গ ও স্থির-তরঙ্গের তুলনা :—

চল তরঙ্গ	স্থির তরঙ্গ
(১) মাধ্যমের প্রত্যেক কণাই সরল সমঞ্জস গতিতে নিজেদের মধ্যক অবস্থানের দুইদিকে কম্পিত হয় এবং ইহাদের মধ্যক অবস্থান হইতে বিস্তার সমান হয়	(১) মাধ্যমের প্রত্যেক কণা ভিন্ন ভিন্ন বিস্তারের সহিত সরল সমঞ্জস গতিতে কম্পিত হয়, কেবল মাত্র স্থির-বিন্দুতে অবস্থিত কণার কোনও কম্পন ঘটে না। দুইটি স্থির-বিন্দুর মধ্যে সম দূরত্বে অবস্থিত কণার কম্পনের বিস্তার সর্বাপেক্ষা বেশী। এই বিন্দুকে স্পন্দন-বিন্দু বলা হয়। কম্পনের পর্যায়কাল তরঙ্গের পর্যায়কালের সমান।
(২) কণা কম্পিত হয় এবং তরঙ্গ নির্দিষ্ট বেগে অগ্রসর হয়। তরঙ্গের বেগ মাধ্যমের উপর নির্ভর করে।	(২) কণা কম্পিত হয় বটে কিন্তু তরঙ্গ মাধ্যমের ভিতর দিয়া অগ্রসর হয় না, কেবল মাত্র সঙ্কোচনের ও তনুভবনের অবস্থা কোনও কোনও স্থানে আবির্ভূত হয়, কিন্তু এই অবস্থা কোনও দিকে অগ্রসর হয় না।
(৩) তরঙ্গ গতির সময় এক কণার কম্পন পূর্ববর্তী কণার কম্পনের চেয়ে পিছনে পড়িয়া থাকে অর্থাৎ এক কণা হইতে পরবর্তি কণায় দশার অবিরত পরিবর্তন ঘটে।	(৩) পাশাপাশি দুই স্থির-বিন্দুর মাঝে সকল কণা একই দিকে ধাবিত হয় অর্থাৎ একই দশায় থাকে কিন্তু একই স্থির-বিন্দুর দুই পাশে সম দূরত্বে কণাগুলি বিপরীত দশায় থাকে।
(৪) একটি সম্পূর্ণ পর্যায়কালের মধ্যে মাধ্যমের সকল কণাই কোনও সময়ে স্থির অবস্থা প্রাপ্ত হয় না।	(৪) একটি সম্পূর্ণ পর্যায়কালের মধ্যে মাধ্যমের সকল কণাই ক্ষণিকের জন্য দুইবার নিশ্চল অবস্থা পায়।

চল তরঙ্গ	স্থির তরঙ্গ
(৫) প্রবহমান তরঙ্গের প্রভাবে মাধ্যমের প্রতি কণাকে একই চাপ ও ঘনাঙ্কের পরিবর্তনের ভিতর দিয়া যাইতে হয়।	(৫) মাধ্যমের বিভিন্ন কণায় বিভিন্ন চাপ ও ঘনাঙ্ক দেখা যায়। স্থির বিন্দুতে চাপের পরিবর্তন চরম হয় স্পন্দন-বিন্দুতে চাপের পরিবর্তন খুবই কম।
(৬) তরঙ্গ দৈর্ঘ্য — একটি তরঙ্গশীর্ষ + একটি তরঙ্গপাদ (বা একটি সঙ্কোচন তরঙ্গ + তনুভবন তরঙ্গ)।	(৬) তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য — তিনটি পরপর স্থির-বিন্দু বা স্পন্দন-বিন্দুর দূরত্ব।

প্রশ্ন

1. What are beats ?

How are they produced ? If two tuning-forks sounded together produce beats, how would you determine which was of the higher pitch ? (All. '25, '33, '44 : Dac. '30 ; Cf. Pat. '32, '40, '41, '45 ; Cf. C. U. '33, '39.)

2. A standard fork A has a frequency of 256 vibrations and when a fork B is sounded with A there are four beats per second. What further observation is required for determining the frequency of B ? (C. U. 1933).

3. What are beats and stationary vibrations ? Explain by composition of vibration the production of beats and stationary vibrations. (Pat. 1937).

4. What are stationary waves ? (C. U. 1947).

5. Distinguish between a progressive and a stationary wave giving an example of each and illustrating your answer by diagrams. (C. U. 1923, Cf 1910, '39, Cf Pat. '31, '35, ; All. '31, '46).

6. You are privided with two tuning-forks of nearly equal frequencies. Explain how you would proceed to find out which of the two has the greater frequency. (Pat. 1941).

সুরযুক্ত শব্দ (Music) ও সুর বর্জিত শব্দ (Noise)

৫৪। **শব্দ দুই প্রকার ঃ—**

(ক) **সুরযুক্ত শব্দ ঃ** ইহা সকল সময় নিয়মিত পর্যাবৃত্ত কম্পন দ্বারা উদ্ভুত হয়। ইহা নিরবচ্ছিন্ন শ্রুতি-মধুর শব্দ। Tuning fork ও বাদ্য যন্ত্রের শব্দ শ্রুতি-মধুর শব্দ।

(খ) **সুরবর্জিত শব্দ ঃ** অনিয়মিত ক্ষণস্থায়ী কম্পনোদ্ভূত শব্দকে সুরবর্জিত শব্দ বলে। ইহা আমাদের কর্ণের পীড়াদায়ক ও মোটেই শ্রুতিমধুর নহে। ইহাকে গোলমাল বা কোলাহলও বলা হয়।

৫৫। **দুই শব্দের পার্থক্য ঃ** উভয় শব্দের মোটামুটি এই পার্থক্য যে সুরযুক্ত শব্দে কম্পন নিয়মিত, দীর্ঘস্থায়ী ও পর্যাবৃত্ত হয় আর কোলাহলে কম্পন অনিয়মিত, ক্ষণস্থায়ী ও অপর্যাবৃত্ত হয়। কিন্তু কার্য্যতঃ সব সময় এই পার্থক্য দেখা যায় না। সুরযুক্ত শব্দেও অনিয়মিত কম্পন দেখা যায় ও সুরবর্জিত শব্দেও নিয়মিত পর্যাবৃত্ত কম্পন দেখা যায়। অনেক সময় ঘণ্টাধ্বনির মধ্যেও সুরবর্জিত শব্দ শুনা যায়। নদীর কুল কুল শব্দ শ্রুতিমধুর। অনেক সময় অবস্থাভেদে একই শব্দের দুই প্রকার অনুভূতি হইতে পারে। হাটের মাঝখানে দাঁড়াইলে কাণে সুরবর্জিত হট্টগোল শুনা যায়। বহুদূর হইতে শুনিলে এই শব্দের ভিতর একটি সুরের রেশ পাওয়া যায়।

৫৬। **সুরযুক্ত শব্দের বিশেষত্ব** (Characteristics)ঃ তিনটি বিশেষত্বের দ্বারা একটি সুরযুক্ত শব্দকে অন্য একটি সুরযুক্ত শব্দ হইতে পৃথক করা যায়। যথা—(ক) **প্রাবল্য** (Loudnsss) বা **তীব্রতা** (Intensity), (খ) **তীক্ষ্ণতা** (Pitch), (গ) **গুণ বা ধর্ম** (quality or timbre)।

(ক) **তীব্রতা ঃ** ইহা শব্দের প্রবলতা বা আয়তনের (volume মাপ বিশেষ। মাধ্যমের এক ঘন সেঃ মিঃ আয়তনের মধ্য দিয়া যতটা শব্দশক্তি অতিক্রম করে ইহা তাহার সহিত সমানুপাতিক হয়। শব্দতরঙ্গের গতিপথের উপর অভিলম্বভাবে রক্ষিত এক বর্গ সেঃ মিঃ ক্ষেত্রের উপর যতটুকু শব্দশক্তি আপতিত হয় সেই শক্তি দিয়া ইহা মাপা হয়। সেইজন্য তীব্রতা শক্তির

(energy) দ্বারা মাপা হয়। তীব্রতা সকল প্রকার (সুরযুক্ত ও সুরবর্জিত) শব্দের বৈশিষ্ট।

তীব্রতা নিম্নলিখিত বিষয়গুলির উপর নির্ভর করে :

(১) **স্বনকের দূরত্ব :** কোন বিন্দুতে শব্দের তীব্রতা শব্দের উৎপত্তি-স্থল হইতে বিন্দুর দূরত্বের বর্গফলের ব্যস্তানুপাতিক হয়।

মনে কর শব্দের উৎপত্তি-স্থল (স্বনক) S হইতে দুইটি বিন্দু A ও Bর দূরত্ব যথাক্রমে r_1 ও r_2। S কে কেন্দ্র করিয়া r_1 ও r_2 কে ব্যাসার্ধ লইয়া দুইটি গোলক আঁক। মনে কর E = প্রতি সেকেণ্ডে S হইতে উত্থিত শব্দ-শক্তি। Aতে শব্দের তীব্রতা I_A = একক বর্গ ক্ষেত্রের উপর লম্বভাবে পতিত শব্দ-শক্তি

$$= \frac{\text{মোট শব্দ শক্তি}}{\text{প্রথম গোলকের ক্ষেত্রফল}} = \frac{E}{4\pi r_1^2}$$

সেইরূপে Bতে শব্দের তীব্রতা $I_B = \frac{E}{4\pi r_2^2}$ $\therefore \frac{I_A}{I_B} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$

প্রতি সেকেণ্ডে S হইতে যে শক্তি প্রবাহিত হয় তাহা যতই দূরত্ব বাড়ে ততই প্রতি বর্গ ক্ষেত্রে কম হইয়া পড়ে। উহার তীব্রতা কমিয়া যায়। (৩৬০ পৃঃ ১৫নং চিত্রের মত)।

(২) **কম্পমান বস্তুর কম্পনের বিস্তার :** শব্দের তীব্রতা কম্পমান বস্তুর কম্পনের বিস্তারের বর্গফলের সমানুপাতিক হয়। বস্তুটি যত বেশী দূর কম্পিত হইবে ইহা তত বেশী শব্দ শক্তি মাধ্যমে সঞ্চালিত করিবে এবং তত বেশী শক্তি কাণে পৌছিবে।

মনে কর e = গতীয় শক্তি, m = বস্তুর ভর, v = বেগ, a = বিস্তার

$$\therefore \quad e = \tfrac{1}{2}mv^2 = \tfrac{1}{2}m\left(\frac{2\pi a}{T}\right)^2 = \frac{2\pi m a^2}{T^2} \quad \therefore \quad e \propto a^2.$$

Tuning forkকে জোরে আঘাত করিলে কম্পনের বিস্তার বাড়ে ∴ শব্দের প্রবলতা বাড়িয়া যায়।

(৩) **কম্পমান বস্তুর আকার :—কম্পমান বস্তুর আকারের উপর শব্দের তীব্রতা নির্ভর করে। জয় ঢাকের চর্মাচ্ছাদিত অংশের আকার বড় হওয়ার জন্য জয়ঢাকের আওয়াজ ছোট ঢোলের আওয়াজের চেয়ে প্রবল হয়। এই প্রবলতার কারণ হইতেছে যে আকার বড় বলিয়া জয় ঢাকের মাধ্যমের অনেকখানি আয়তন**

কম্পিত হয়। সেইজন্য বায়ুর এক বর্গ ক্ষেত্রের মধ্য দিয়া বেশী শব্দ শক্তি অতিক্রম করে।' তাহার ফলে শব্দের জোর বেশী হইয়া থাকে। এই কারণে বড় বড় গীর্জার ঘণ্টা খুব বড় আকারের হইয়া থাকে এবং অনেক দূর হইতে ইহার শব্দ শোনা যায়।

(৪) **অনুনাদক বস্তুর উপস্থিতি** ঃ—অনুনাদক বস্তুর উপস্থিতি শব্দের প্রবলতা বৃদ্ধি করে। Tuning fork-এর কম্পনের সহিত অনুনাদ বাক্সের বায়ুও কম্পিত হয়; তাহার ফলে শব্দ তীব্রতর হইয়া থাকে।

(৫) **মাধ্যমের ঘনাঙ্ক** ঃ—মাধ্যমের ঘনাঙ্ক বেশী হইলে শব্দও বেশী জোর হইয়া থাকে। ঊর্ধে বায়ুর ঘনাঙ্ক কমিয়া যায় সেজন্য aeroplane-এর সাহায্যে অনেক উচে উঠিলে এক ব্যক্তি কথা বলিলে কিছু দূরে অপর ব্যক্তি খুব আস্তে শুনিতে পায় এমন কি তাহার কথা শ্রাব্য নাও হইতে পারে; পৃথিবীর উপর বায়ুর ঘনাঙ্ক বেশী সেইজন্য পৃথিবীর উপর শব্দ ভাল র কম শোনা যায়। আবার জলের মধ্যে কথা বলিলে জলের ভিতর শব্দ অনেক দূর স্পষ্ট শোনা যায়। ইহার কারণ জলের ঘনাঙ্ক বাতাসের ঘনাঙ্কের চেয়ে অনেক বেশী। শীতল বায়ুতে শব্দ বেশীদূর শোনা যায়।

(৬) **মাধ্যমের গতি** ঃ—মাধ্যমের গতির দিকে শব্দ অনেক দূর পর্য্যন্ত শ্রুত হয় কিন্তু মাধ্যমের গতির বিপরীত দিকে শব্দ বেশী দূর শোনা যায় না। শীতকালে কলিকাতায় হাওয়া উত্তর হইতে দক্ষিণ দিকে প্রবাহিত হইয়া থাকে সেইজন্য শীতকালে কলিকাতার উত্তরাঞ্চলে বেলা ১টায় সময়-নির্দেশক তোপধ্বনি প্রায়ই শোনা যায় না।

(খ) **তীক্ষ্ণতা** ঃ—সুরযুক্ত শব্দের যে বৈশিষ্ট্যের দরুণ খাদের (মোটা) সুর হইতে চড়া সুরের প্রভেদ বুঝিতে পারা যায় তাহারই নাম **তীক্ষ্ণতা**। হারমোনিয়ামের পর্দায় বাম দিক হইতে ডান দিকে সুর ক্রমশঃ চড়া হয় এবং অপর দিকে সুর ক্রমশঃ খাদে নামিয়া যায় অর্থাৎ গম্ভীর হয়।

ঘূর্ণায়মান Bicycle-এর চাকার পাখির (spokes) উপর এক টুকরা পাতলা টিন স্পর্শ করাইলে শব্দের সৃষ্টি হয়। চাকা জোরে ঘুরাইলে আওয়াজের তীক্ষ্ণতা বৃদ্ধি পায় অর্থাৎ কম্পনাঙ্ক বৃদ্ধির সহিত তীক্ষ্ণতা বৃদ্ধি পায়। খাদের সুরের

কম্পনাঙ্ক কম অতএব উহার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বড় কিন্তু চড়া সুরের কম্পনাঙ্ক বেশী অর্থাৎ তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ছোট।

তীক্ষ্ণতা হইল সুর যুক্ত সুরের একটি প্রধান বৈশিষ্ট্য কিন্তু সুর বর্জিত শব্দের বেলায় এইরূপ কোনও বৈশিষ্ট্য নাই বলিলেই চলে।

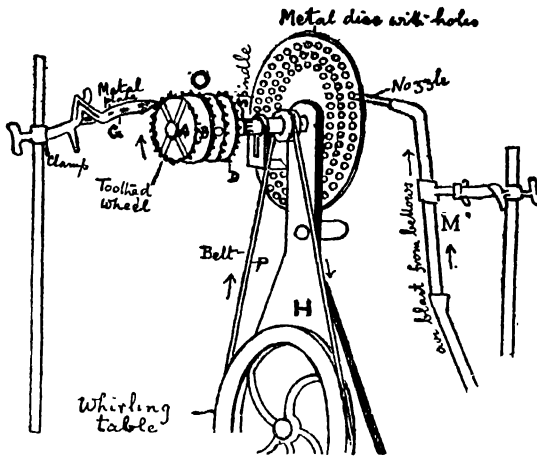
(গ) **গুণ**ঃ যে বৈশিষ্ট্যের দরুণ একই তীব্রতা (intensity) ও তীক্ষ্ণতা সম্পন্ন সুর ভিন্ন ভিন্ন সঙ্গীত যন্ত্র হইতে উদ্ভুত হইলে উহাদিগকে প্রভেদ করা সম্ভব হয় সেই বৈশিষ্ট্যকে সুরের **গুণ** বলা হয়।

এই প্রসঙ্গে মনে রাখিবে একটি মাত্র কম্পনাঙ্ক বিশিষ্ট সুরকে **শুদ্ধ সুর** (Tone) বলা হয় এবং একাধিক কম্পনাঙ্কবিশিষ্ট সুরের সমন্বয়কে **মিশ্র সুর** (Note) বলা হয়। সুমধুর সুরের শব্দ প্রায়ই মিশ্র সুরের হয় এবং এই মিশ্র সুরের মধ্যে লঘিষ্ঠ কম্পনাঙ্কের সুরকে **মূল সুর** (Fundamental) বলা হয়। বেশীর ভাগ সময়েই মূল সুরটি তীব্রতায় গরিষ্ঠ হইয়া থাকে কিন্তু সকল সময়ে নয় (৩৪৮পৃঃ Sound—Alexander Wᴗo)। ঐ লঘিষ্ট কম্পনাঙ্কর সুরের দ্বিগুণ, ত্রিগুণ, চতুর্গুণ কম্পনাঙ্কের সুরকে যথাক্রমে প্রথম, দ্বিতীয়, তৃতীয় Harmonic বলা হয়। Harmonic-এর অপর নাম over tone. মূল সুরের দ্বিগুণ, ত্রিগুণ সুরকে Harmonic Overtone বলা উচিৎ কারণ যখন ঘণ্টা বাজান হয় তখন উহার মূল সুরের সহিত যে সকল overtone সৃষ্ট হয় সেগুলি সকল সময়ে মূল সুরের **গুণিতক** নয়, কিন্তু তারের যন্ত্রের কিম্বা বাঁশী ইত্যাদির বেলায় overtone গুলি মূল সুরের গুণিতক হইয়া থাকে এবং উহাদিগের Harmonic overtone বলা হয়, কিম্বা Harmonics বলা হয়।

মূল সুর ও Harmonics-এর সমন্বয়ে সুরের গুণ ভিন্ন হইয়া থাকে। একই তীব্রতার ও তীক্ষ্ণতার সুর দুইটি বাদ্যযন্ত্র হইতে গীত হইলে তাহাদের প্রভেদের কারণ ভিন্ন ভিন্ন Harmonics-এর তীব্রতার তারতম্য। যেহেতু কোন সুরের ধর্ম overtone-এর সংখ্যা, আপেক্ষিক ক্রম (order) ও তীব্রতার উপর নির্ভর করে সেইজন্য দুই সুরের তীব্রতা ও তীক্ষ্ণতা এক হইলেও **তরঙ্গের আকৃতি** পৃথক হয় যদিও ইহাদের মূল সুরের বিস্তার ও তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য এক হয়।

এই ছবিতে একই মূল সুরবিশিষ্ট শব্দ ভিন্ন ভিন্ন যন্ত্র হইতে শব্দিত হওয়ার দরুণ কম্পন চিত্রের পার্থক্য দেখান হইয়াছে। এই কম্পন চিত্র বিশ্লেষণ করিলে কোন কোন Harmonic কতটুকু তীব্রতায় বর্তমান আছে তাহা বুঝিতে পারা যাইবে।

৫৭। **তীক্ষ্ণতা নির্ণয়ঃ**—নিম্নলিখিত পরীক্ষার দ্বারা তীক্ষ্ণতা নির্ণয় সম্ভব।

(ক) **Savart দন্তুর চক্র** (Toothed Wheel):—ইহাতে করাতের মত দাঁতযুক্ত চারিটি সমান ব্যাসের চাকা ABCD একই অক্ষ দণ্ড (spindle) Eর উপর সমকেন্দ্রিকভাবে বসান আছে। ঐ অক্ষ দণ্ডটি ফিতা (belt) P দ্বারা একটি ঘূর্ণ্যমান (whirling) টেবিল Hর সহিত সংযুক্ত। ঐ দন্তুর চক্রের দন্তের

৩৪নং চিত্র

সংখ্যার অনুপাত ১০ : ১৫ : ১৮ : ২৪ হইয়া থাকে। একটি ছোট টিনের পাত G একটি বন্ধনীর সাহায্যে যে কোন চক্রের (মনে কর A চক্রের) একটি দাঁতের সহিত আলগাভাবে স্পর্শ করাইয়া রাখ। H চাকাকে সমদ্রুতিতে জোরে ঘুরাও। এখন E অক্ষ-দণ্ড ঘুরিবে এবং সঙ্গে সঙ্গে দন্তুর চক্র A ঘুরিবে এবং টিনের পাতে খট্‌খট্ শব্দ (taps) উত্থিত হইবে। শব্দের কম্পনাঙ্ক ঐ পাতের প্রতি

সেকেণ্ডে কম্পনাঙ্কের সমান হইবে। চক্রের ঘূর্ণন গতি বাড়াইলে শব্দের স্বরও চড়া হইতে থাকিবে। যদি A চক্রের দন্ত সংখ্যা = n ও প্রতি সেকেণ্ডে ঘূর্ণনের সংখ্যা = N হয় তবে টিনের পাতটি প্রতি সেকেণ্ডে n.N বার কম্পিত হইবে অতএব শব্দের কম্পনাঙ্ক হইবে = n N.

স্বরের কম্পনাঙ্ক নির্ণয়ঃ—দন্তর চক্রের ঘূর্ণন গতি বাড়াইয়া বা কমাইয়া অপরিচিত স্বরের সহিত দন্তর চক্রের স্বর মেলান হয়। এখন অপরিচিত স্বরের কম্পনাঙ্ক = n. N হইবে।

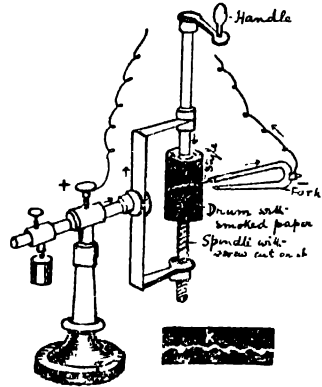
(খ) **সিবেক সাইরেন** (Seebeck's Siren)ঃ—এই যন্ত্রে একটি গোল ধাতব চাকতি (metal disc) E অক্ষ-দণ্ডের (spindle) সহিত সংযুক্ত থাকে (৩৪নং চিত্র). H টেবিলকে জোরে ঘুরাইলে চাকতি জোরে ঘুরিবে। চাকতিতে বিভিন্ন ব্যাসযুক্ত বৃত্তের পরিধির উপর কয়েক সারি ছোট ছোট ছিদ্র (holes) থাকে। সকল বৃত্তেরই কেন্দ্র E অক্ষ-দণ্ডের উপর স্থাপিত হয়। যে কোন বৃত্তের ছিদ্রগুলি পরস্পর হইতে সমদূরত্বে থাকে। একটি দ্রুতি-মাপক (speed counter) দিয়া চাকতির ঘূর্ণন-দ্রুতি মাপা যায়। এখন H টেবিলকে জোরে ঘুরাও। চাকতিও জোরে ঘুরিবে। M নলের সরু মুখ (nozzle) N-কে এক সারি ছিদ্রের ঠিক সম্মুখে রাখ। পা-হাঁপরের (foot bellows) সাহায্যে M নলের ভিতর দিয়া জোরে বায়ু চালাও। বায়ু সরু মুখ N দিয়া জোরে বাহির হইবে এবং যখন N মুখ ঘূর্ণায়মান চাকতির কোন ছিদ্রের সম্মুখে আসে তখন বায়ু ছিদ্রপথে নির্গত হয় এবং N মুখ যখন চাকতির গায়ে অর্থাৎ যেখানে ছিদ্র নাই সেই জায়গায় লাগে তখন বায়ু আটকাইয়া যায়। এইরূপে বায়ু পর্যায়ক্রমে সমান ব্যবধানে মুক্ত হয় ও আটকাইয়া যায়। ইহাতে বায়ুতে পর্যাবৃত্ত কম্পন সৃষ্টি হয় এবং শব্দ নির্গত হয়। সেই শব্দের কম্পনাঙ্ক = চাকতির ছিদ্র সংখ্যা × ১ সেকেণ্ডে ঘূর্ণন-সংখ্যা।

কোন স্বরের তীক্ষ্ণতা নির্ণয় করিবার জন্য সাইরেনের দ্রুতি নিয়ন্ত্রিত কর যতক্ষণ না স্বরের সঙ্গে সাইরেনের চাকতির শব্দের মিল (unison) না হয়। মনে কর ছিদ্র-সংখ্যা = m এবং এক সেকেণ্ডে চাকতির পূর্ণ ঘূর্ণন সংখ্যা = n. নির্গত শব্দের কম্পনাঙ্ক = n m. = স্বরের কম্পনাঙ্ক।

(গ) সোজা নিয়ম (Direct Method): Duhamel's Vibroscope:

নীতিঃ—ভুষামাখান কাগজের উপর কম্পনাঙ্ক গ্রহণ করা হয় এবং উহা গণনা করা হয়।

যন্ত্রঃ—D চোঙাকৃতি বেলুনে (Drum) ভুষামাখান কাগজ জড়ান আছে। বেলুনের অক্ষ বরাবর একটি দণ্ড (spindle) থাকে। দণ্ডে সমস্ত দৈর্ঘ্য বরাবর স্ক্রুর প্যাঁচ (pitch) কাটা আছে। প্যাঁচটি একটি nut-এর উপর স্থাপিত আছে। ইহার ফলে দণ্ড ঘুরাইলে প্রত্যেক আবর্তনে বেলুনটি সমানভাবে আগাইয়া চলে। কম্পমান বস্তুর (যথা Tuning fork) একটি বাহুতে একটি হালকা Aluminiumএর কলম S (style) লাগান থাকে। এই কলমটি আল্‌গাভাবে ভুষা কাগজ স্পর্শ করে। কলমটি এমনভাবে লাগান থাকে যে ইহা বেলুনের অক্ষের সমান্তরালে কম্পিত হয়।

কার্যপদ্ধতিঃ—Fork-কে আঘাত করিয়া কাঁপাও। বেলুনকে হাতলের (Handle) সাহায্যে সমগতিতে ঘুরাও। এখন S কলম কাগজের উপর ঢেউখেলান রেখা অঙ্কিত করিবে। যদি নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে (ধর এক সেকেণ্ড) ঢেউ-খেলান রেখায় দুইটি দাগ (spot) চিহ্ন করা যায় তবে এই সময়ের ব্যবধানে কম্পনের সংখ্যা ঢেউ-খেলান রেখা হইতে সাক্ষাৎভাবে গণনা করিয়া কম্পনাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।

৩৫নং চিত্র

S তারের সহিত কাগজের ঘর্ষণে কম্পনের বিস্তার ক্রমশঃ কমিয়া যায়। সেইজন্য কার্যতঃ তড়িৎ-চুম্বকের (electro-magnet) সাহায্যে Fork-কে কম্পিত করা হয়। তড়িৎ-দোলকের (electric pendulum) সাহায্যে সময় দেখা হয়। তড়িৎ দোলক এক সেকেণ্ড অন্তর স্ফুলিঙ্গ (spark) দেয় এবং স্ফুলিঙ্গের জন্য

ভুষোকাগজে এক সেকেণ্ড অন্তর দাগ হয়। পর পর দুইটি দাগের মাঝে কাগজে পূর্ণ তরঙ্গ গণনা করিয়া কম্পাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।

(ঘ) **সনোমিটার** (Sonometer): এই যন্ত্র দিয়া কম্পনাঙ্ক মাপা যায়। যে শব্দের কম্পনাঙ্ক নির্ধারণ করা দরকার উহার সহিত সনোমিটারের তারের সমযন বা একতান (unison) করিয়া লওয়া হয় কিন্তু সনোমিটারের তারের কম্পনাঙ্ক নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা ব্যক্ত করা হয়:—

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

n — তারের কম্পনাঙ্ক l — তারের দৈর্ঘ্য

T — টান (Tension) m — তারের এক সেন্টিমিটারের ভর।

সনোমিটারের বিষয় ৭১ অনুচ্ছেদে আলোচনা হইবে।

(ঙ) **বায়ুস্তম্ভের অনুনাদ** (পরে আলোচনা করা হইবে)

(চ) **স্বরকম্প দ্বারা** (অনুচ্ছেদ)

৫৮। **সুর বা স্বরগ্রাম** (Musical Scale):—হার্মোনিয়াম ও পিয়ানোতে কতকগুলি চাবি আর বাঁশীতে কতকগুলি ছিদ্র আছে যাহার সাহায্যে ঐ বাদ্য যন্ত্র বাজাইলে, কতকগুলি নির্দিষ্ট সুর বাহির হয়। কিন্তু বেহালা ও অন্যান্য তারের যন্ত্রে যন্ত্রীর হাতের কায়দায় অনেক বেশী সুর বাহির করা সম্ভব এবং কণ্ঠস্বরের সহিত সুর সমন্বয়ও সম্ভব। স্বরগ্রামের উদ্দেশ্য হইল কতকগুলি নির্দিষ্ট কম্পনাঙ্কের সুর চাবিগুলির সহিত সন্নিবেশ করা যাহার দ্বারা গানের সহিত সুর মিলাইয়া বাজান চলে।

৫৯। **স্বরভেদ** (Musical interval): স্বরগ্রামে কোনও সুরের কম্পনাঙ্ক কি তাহা বিবেচ্য নয়, দেশ ভেদে ইহা বিভিন্ন হইতে পারে এবং কাল ভেদে ইহার পরিবর্তনও ঘটে। প্রকৃত পক্ষে একসুর হইতে অপর সুরের প্রভেদ আমাদের কাণে ধরা পড়ে দুই সুরের কম্পনাঙ্কের অনুপাত হিসাবে। দুইটি সুরের কম্পনাঙ্কের অনুপাতের নাম **স্বরভেদ** (musical interval)। যদি দুইটি সুরের কম্পনাঙ্কের অনুপাত $^4/_5$ হয় (যেমন $^{200}/_{250}$ কিম্বা $^{100}/_{125}$) কাণের এক সুর হইতে অপর সুরে পরিবর্তনের প্রভেদ বোঝা যায় না। যদি দুইটি সুরের অনুপাত দুইটি ছোট সংখ্যার ভগ্নাংশের দ্বারা উল্লিখিত হয় তাহা হইলে ঐ দুইটি সুর একসঙ্গে

বাজাইলে শব্দ শ্রুতি-মধুর হয় (concord), যেমন 1 : 1, 2 : 1, 3 : 2, 4 : 3 ইত্যাদি। কিন্তু যদি কম্পনাঙ্কের অনুপাত ছোট সংখ্যার দ্বারা উল্লিখিত করা না যায় তাহা হইলে সেরূপ শব্দ শ্রুতিকটু (discord) হইয়া থাকে। এইরূপে 1 : 1 অনুপাতের শব্দ সর্বাপেক্ষা সুশ্রাব্য হয়। ইহাকে **একতান** (unison) বলা হয়। 2 : 1 অনুপাতের শব্দকে octave (অষ্টক) বলা হয়। 3 : 2 fifth, 4 : 3 fourth, 5 : 4 major third, 6 : 5 minor third, 5 : 3—major sixth, 8 : 5—minor sixth, 16 : 15 limma (semitone) ও 81 : 80—comma.

৬০। Diatonic Scale :—

বহু যুগ ধরিয়া যে স্বরগ্রাম চলিয়া আসিয়াছে তাহাকে Diatonic scale বলা হয়। এই স্বরগ্রামের প্রধান সুরকে Tonic বলা হয়, যেমন সা, রে, গা, মা, পা, ধা, নি সা। এই সুরাষ্টকের Tonic হইল সা। বৈজ্ঞানিক মতে (Helmholtz ইহার প্রবর্তক)। সুরাষ্টক C, D, E, F, G, A, B, C দ্বারা লিখিত হয়। যেমন তিন অষ্টক(3 octave) বিশিষ্ট Harmonium এর মধ্যক অষ্টকের প্রথম চাবি সাধারণত C হইয়া থাকে। এই তিনটি সুর সপ্তককে উদারা, মুদার ও তারা নামে এই দেশে অভিহিত করা হয়। এই হিসাবে

এইগুলি সবই হারমোনিয়ামের সাদা চাবি। এই প্রসঙ্গে বলা উচিৎ যে হারমোনিয়ামের স্বরগ্রামের নাম Tempered scale। ইহার কথা পরে বলা হইবে।

সা	রে	গা	মা	পা	ধা	নি	সা	স্বরগ্রাম
C	D	E	F	G	A	B	C	
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2	Tonic এক (one) হইলে অপর স্বরের কম্পনাঙ্ক
$9/8$	$10/9$	$\frac{16}{15}$	$9/8$	$10/9$	$9/8$	$16/15$		পার্শ্ববর্তি দুই সুরের কম্পনাঙ্কের অনুগত হয়।

24 27 30 32 36 40 45 48—সা'র 24 কম্পনাঙ্ক হইলে অপর স্বরের কম্পনাঙ্ক ঐইরূপ হইবে।

সভ্য জগতে Diatonic scale এর প্রচলন বহুযুগের। মনে হয় শ্রুতিমধুর ও শ্রুতিকটু শব্দের পর্য্যালোচনা হইতে স্বরগ্রামের উদ্ভব হইয়া থাকিবে। এইরূপ স্বরগ্রামের স্বর সমূহ স্বরের সমন্বয়ে সামঞ্জস্য বিধান করিয়া থাকে; ইহার প্রধান কারণ স্বর সপ্তকের দুইটি স্বরের কম্পনাঙ্কের অনুপাত খুব ছোট সংখ্যার ভগ্নাংশের সমান।

C	D	E	F	G	A	B	c	d	e
256	288	320	341·3	348	425·7	480	512	576	640

C কে Tonic ধরিলে ভিন্ন ভিন্ন স্বরের যাহা অনুপাত হয় E কে Tonic ধরিলে পরবর্তি স্বরের অনুপাত একরূপ হয় না। যেমন

$$C : D = 256/288 \quad E/F = 320/341{\cdot}4,$$

অতএব C কে Tonic ধরিলে যে স্বর সামঞ্জস্য তৈয়ারী হয় E কে Tonic ধরিয়া পরবর্তি শব্দ সেরূপ স্বর সামঞ্জস্য করিতে সক্ষম হয় না। এই কারণে এযুগে Diatonic scale এর প্রচলন বন্ধ হইয়াছে। চাবি বিশিষ্ট যন্ত্রে (keyed instruments) diatonic scale এর অনুপাতে কম্পনাক নির্ধারিত হয় না।

৬১। **Tempered Scale :** স্পেন দেশীয় Bartolomeo Rames (১৪৮২) এবং ইটালি দেশীয় Zarlino (১৫৯০) নিজে নিজে স্বাধীন ভাবে অনুরূপ স্বরগ্রামের প্রবর্তন করেন যাহার নাম scale of equal temperament (সম প্রাকৃতিক স্বরগ্রাম)। সুর সপ্তকের মধ্যে আরও পাঁচটি স্বর সন্নিবিষ্ট করা হয় যেমন,

(কোমল)রে (কোমল)গা (কড়ি,মা (কোমল)ধা (কোমল)নি

গা মা পা ধা নি

সা C^{II} রে D^{II} F^{II} G^{II} A^{II}

C D E F G A B

বন্ধনীর মধ্যের স্বরগুলি হারমোনিয়ামের কাল চাবি।

এই বিধান অনুযায়ী সুর ও উহার অষ্টক বারটি ভাগে ভাগ করা হয়। যদি x দুইটি পাশাপাশি সুরের কম্পনাকের অনুপাত হয় তাহা হইলে

$2 = x.x.x.........12$ গুণনীয়ক (factors)

or $x^{12} = 2, \quad x = 2^{\frac{1}{12}} = 1{\cdot}05946$

C	C♯	D	D♯	E	F	F♯	G	G♯	A	A♯	B	C
1	$2^{\frac{1}{12}}$	$2^{\frac{2}{12}}$	$2^{\frac{3}{12}}$	$2^{\frac{4}{12}}$	$2^{5/12}$	$2^{6/12}$	$2^{7/12}$	$2^{8/12}$	$2^{9/12}$	$2^{10/12}$	$2^{11/12}$	2

১৮৫০ খৃষ্টাব্দের পর ইউরোপে এ চাবিযুক্ত সঙ্গীত যন্ত্রে Tempered scale এর ব্যবহার প্রবর্তিত হয়।

৬২। ভারতীয় সঙ্গীতের স্বর ও সুরের উৎপত্তি :

সঙ্গীত শাস্ত্রে সপ্ত সুরের মধ্যে দ্বাবিংশতিটি শ্রুতি স্বীকার করেন। শ্রুতি শব্দে ক্রমান্বয়ে সুর মধ্যবর্তী সূক্ষ্ম সুর বা কম্পগুলি বোঝায়।

Pythagoras এর মতে (অর্থাৎ গ্রীক্ সঙ্গীত শাস্ত্রে) স্বর গ্রামে ২৪টি শ্রুতির কথা উল্লিখিত হয়।

সপ্ত সুরের উদ্ভব হিন্দু শাস্ত্র মতে এইরূপ :—

ষড়জং রৌতি ময়ূরাস্ত গাবো নদন্তি ঋষভং
অজো রৌতি তুগান্ধার ক্রৌঞ্চঃ ক্বণতি মধ্যমং
কোকিলঃ পঞ্চমং রৌতি হয়ো হ্রেষতি ধৈবতং।
নিষাদ কুঞ্জরো রৌতি স্বরা না মেব নির্ণয়ঃ।

ময়ূরের স্বর হইতে ষড়জ (সা), বৃষেব স্বর হইতে ঋষভ (রে), ছাগের স্বব হইতে গান্ধার (গা), সারস পক্ষীর স্বর হইতে মধ্যম (মা), কোকিলের স্বর হইতে পঞ্চম (পা), অশ্বের স্বর হইতে ধৈবত (ধা), ও হস্তীর স্বব হইতে নিষাদ (নি) স্বর উৎপন্ন হইয়াছে।

সা—৪ শ্রুতি, রে—৩ শ্রুতি, গা—২ শ্রুতি, মা—৪ শ্রুতি, পা—৪ শ্রুতি, ধা—৩ শ্রুতি, নি—২ শ্রুতি, মোট ২২ শ্রুতি।

৬৩। **ডপলার ফল** (Doppler Effect) : যখন দূর হইতে দ্রুতগামী কোন ট্রেণ বাঁশী বাজাইতে বাজাইতে প্ল্যাটফরমে দণ্ডায়মান কোন দর্শকের দিকে ছুটিয়া আসে তখন দর্শকের কাণে বাঁশীর শব্দের তীক্ষ্ণতা বাড়িতে থাকে। ট্রেণ

দর্শককে অতিক্রম করিয়া দূরে যাইতে থাকিলে কাণে শব্দের তীক্ষ্ণতা কমিতে থাকে। মনে হয় যেন শব্দ তরঙ্গের কম্পনাঙ্ক পরিবর্তিত হইতেছে। শব্দের উৎপত্তি-স্থল, মাধ্যম বা দর্শকের আপেক্ষিক গতির পরিবর্তনে শব্দের কম্পনাঙ্কের এই আপাত পরিবর্তনকে **ডপলারের ফল** বলে। Doppler নামক একজন অষ্ট্রিয়ান পদার্থবিদ্ এই নীতি আবিষ্কার করেন। মনে রাখিবে শব্দের কম্পনাঙ্ক প্রকৃতই পরিবর্তিত হয় না।

মনে কর n = শব্দের আসল কম্পনাঙ্ক, n_1 = দর্শক দ্বারা অনুভূত আপাত কম্পনাঙ্ক, V = স্থির মাধ্যমে শব্দ তরঙ্গের বেগ, w. = বায়ুর বেগ, V_o = দর্শকের বেগ, V_s = উৎপত্তিস্থলের বেগ। গণিতের গণনা হইতে দেখান যায় যে,

$$n_1 = n \times \frac{V + w - V_o}{V + w - V_s}.$$

যদি দর্শক, মাধ্যম বা উৎপত্তি-স্থল স্থির থাকে তবে তাহাদের বেগ = O হয়। এই সমীকরণ হইতে তিনটি বিষয় জানা যায়:—

দর্শক ও উৎপত্তি-স্থলের মধ্যের দূরত্ব বাড়িলে কম্পনাঙ্ক কমে এবং দূরত্ব কমিলে কম্পনাঙ্ক বাড়ে।

প্রশ্ন।

1. Distinguish clearly between the loudness and the pitch of a musical note. On what physical conditions of the sounding body do they respectively depend?
(C. U. 1909. '12, '14, '19, '21 ; P. U. 1924, '28 ; A. U. '24 ; D. U. '29).

2. On what do loudness. pitch and quality of a musical sound depend? (C. U. 1931 ; A. U. '26 ; D. U. '28, '31 ; P. U. '28, '39).

3. What do you understand by the pitch of a note? Explain a method of experimentally determining the pitch of the note emitted by the given tuning-fork.
(C. U. 1917, '32. P. U. 1926, '47. A. U. 1919, '21, '24).

4. Give a brief account of the various methods of determining the frequency of a fork and discuss their merits.
(A. U. 1928 ; P. U. 1936).

5. Describe a siren, giving a diagram and explain how you would use it to determine the frequency of a given tuning fork.
(C. U. 1921, '28, '30, '40. P. U. 1920, '21, '33, '37, '40. D. U. 1927).

6. The disc of a given siren has 32 holes. A tuning-fork makes 512 vibrations per second. What must be the speed of rotation per minute of the siren disc so that the note emitted by the siren may be in unison with that emitted by the tuning-fork. (C. U. 1910).
[Ans. 960 per min.]

7. How will you explain the difference between pitch and loudness of sound by comparing the roar of a lion and buzzing of a mosquito ? (A. U. 1927)

8. (*a*) What is meant by musical scale ? (A. U. 1946).
Trace the sounds coming from a violin, a flute or a harmonium, and a piano to their ultimate sources. How do these sounds differ from one another, and why ? (P. U. 1932).
(*b*) Write notes on "Timbre" (P. U. 1947).

9. The disc of a siren is making 10 revolutions per second. How many holes must it possess in order that it may be in unison with a tuning-fork of frequency 4802. (D. U. 1232).
[Ans. 48]

10. A siren having a ring of 200 holes is making 132 revolutions per minute. It is found to emit a note which is an octave lower than that of a given tuning fork. Find the frequency of the latter. (C. U. 1944).
[Ans. (2 × 440)]

11. Define musical interval, harmony, melody and chord. Show that the interval *sa* and *ga* is obtained by multiplying the intervals *sa* and *re* and *ga*, but not by adding them. (P. U. 1928).

12. How would you determine experimentally the absolute value of the frequency of a tuning-fork ? Illustrate your answer with a neat sketch of the arrangement described. (P. U 1941).

13. Explain what is meant by the pitch of a note.
A note of frequency 384 is said to be a 'fifth' higher in pitch than one of 256 What is the frequency of the note a 'fifth' higher than the 384 note, and what is the difference in pitch between it and the 256 note ? (L. M.)

তারের কম্পন (Vibration of strings)

৬৪। **তারের প্রাকৃতি** ঃ—তার শব্দ-বিদ্যায় বিশেষতঃ সুমধুর সুর উৎপাদনে বিশিষ্ট স্থান অধিকার করে। বহু উচ্চাঙ্গের বাদ্যযন্ত্রে (যথা এসরাজ, বেহালা) তারের কম্পন হইতে নানা প্রকার সুর উৎপন্ন হয়। শব্দ-বিদ্যায় সরু ও সমান প্রস্থচ্ছেদের (uniform cross section) নমনীয় ও স্থিতিস্থাপক তার ব্যবহৃত হয়। ইহা সাধারণতঃ ধাতু বা পশুর নাড়ী বা তাঁত (catgut) দ্বারা নির্মিত হয়।

৬৫। **তারের কম্পন** ঃ—তারের কম্পন দুই প্রকার হয়—(ক) **তির্যক** ও (খ) **অনুদৈর্ঘ্য**। (ক) এক প্রান্তে বদ্ধ কোন তারের মুক্ত প্রান্তে হঠাৎ একটি ঝাঁকুনি দিলে একটি তির্যক তরঙ্গ নির্দিষ্ট বেগে অপর প্রান্তে পৌঁছিবে। যদি মুক্ত প্রান্তে অনবরত ঝাঁকুনি দেওয়া যায় তবে পর পর তির্যক তরঙ্গশ্রেণী বদ্ধ প্রান্তে প্রতিফলিত হইয়া মুক্ত প্রান্তে ফিরিবে। এক খণ্ড তারের দুই প্রান্ত আটকাইয়া বিস্তৃত (stretched) অবস্থায় মধ্যবিন্দু ধরিয়া উপরদিকে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে ইহা স্থিতিস্থাপকতার জন্য সাম্য অবস্থায় ফিরিয়া আসিতে চেষ্টা করে কিন্তু গতির জাড্যগুণের জন্য ইহা সাম্য অবস্থা পার হইয়া অপর দিকে চলিয়া যায় (১নং চিত্র)। এইরূপে ক্রমহ্রসমান বিস্তারের সঙ্গে দুলিবার পর তারটি পুনরায় সাম্য অবস্থায় ফিরিয়া আসে। এইরূপ কম্পন তারের টানের (tension) জন্য হয়। (খ) তারের দৈর্ঘ্য বরাবর রজন মিশ্রিত চামড়া দিয়া টানিলে তার অনুদৈর্ঘ্য ভাবে কাঁপিতে থাকে।

(এখানে মনে রাখিবে শব্দ তরঙ্গ কখনই তির্যক তরঙ্গ হয় না। কিন্তু কোন বস্তুর কম্পন তির্যক হইতে পারে বা অনুদৈর্ঘ্য হইতে পারে)

৬৬। **তির্যক তরঙ্গের প্রতিফলন** ঃ—

(ক) **তারে তির্যক তরঙ্গের প্রতিফলন** ঃ—মনে কর তারের মধ্য দিয়া তির্যক তরঙ্গ প্রবাহিত হইয়া শেষ প্রান্তে একটি কঠিন ও স্থির অবলম্বনে (support) আঘাত করে। মনে কর একটি তরঙ্গ-পাদ এইরূপ আঘাত করিল। এই আঘাত অবলম্বনকে তরঙ্গের গতির অভিমুখে একটু বলপ্রয়োগ করিবে। নিউটনের গতির তৃতীয় নিয়ম অনুসারে অবলম্বনও তারের প্রান্তে

সমান ও বিপরীত মুখী বলপ্রয়োগ করিবে। ইহার ফলে তারটি প্রতিক্ষিপ্ত (rebound) হইবে। সুতরাং তরঙ্গপাদ এখন তরঙ্গশীর্ষ রূপে প্রতিফলিত হইবে। সুতরাং বদ্ধ প্রান্তে প্রতিফলনে তরঙ্গের প্রকৃতি বদলাইয়া যায়। মনে রাখিবে জলতরঙ্গের প্রতিফলনের বেলায় (জলতরঙ্গ তির্যক তরঙ্গ) এইরূপ তরঙ্গের প্রকৃতি পরিবর্তন হয় না। জলতরঙ্গ যখন বদ্ধ কঠিন পদার্থে ধাক্কা দেয় তখন তরঙ্গপাদ ও তরঙ্গশীর্ষ যথাক্রমে তরঙ্গপাদ ও তরঙ্গশীর্ষ রূপেই প্রতিফলিত হয়।

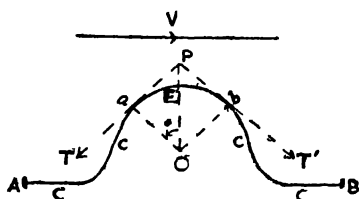
৬৭। **তারে স্থির তরঙ্গ** ঃ—দুই দিকে বাঁধা সটান ভাবে বিস্তৃত তারের মাঝখানে তারের দৈর্ঘ্যের সমকোণে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে ইহার দৈর্ঘ্য বরাবর একটি তির্যক তরঙ্গ নির্দিষ্ট বেগে দুই প্রান্তের দিকে প্রবাহিত হয়। দুই বদ্ধ প্রান্তে আপতিত তরঙ্গ প্রতিফলিত হয় এবং প্রতিফলনে আপতিত তরঙ্গের প্রকৃতি বদলাইয়া যায়। এই প্রতিফলিত তরঙ্গদ্বয় বিপরিত দিক হইতে তারের মাঝখানে আসিয়া পরস্পরকে অতিক্রম করে এবং পুনরায় দুই বদ্ধ প্রান্তে প্রতিফলিত হয়। এইরূপে আপতিত ও প্রতিফলিত তরঙ্গ তার বরাবর পরস্পরের বিপরীত দিকে একই বেগে প্রবাহিত হয় এবং ইহাদের সম্মিলিত ফলে তারে স্থির তরঙ্গের উদ্ভব হয় এবং তাহারই অনুসরণে তার কাঁপিতে থাকে। তারের প্রান্ত দুইটি স্থির-বিন্দু ও মধ্য বিন্দু স্পন্দন-বিন্দু। (অবশ্য যখন সমস্ত তারটি একটি মাত্র কুব্জ অংশে (hump or segment) কম্পিত হয়)। যখন তারটি একটি অংশে কম্পিত হয় তখন মূল স্বর (fundamental) নির্গত হয়। মূল স্বরের কম্পনাঙ্ক সর্বাপেক্ষা গরিষ্ঠ হয়।

যখন তারটি দুই অংশে বা বহু অংশে কম্পিত হয় তখন মূল স্বরের বিভিন্ন গুণিতক কম্পনাঙ্কের সৃষ্টি হয়।

৬৮। **তারের মধ্যে তির্যক তরঙ্গের বেগ** ঃ— (Velocity of transverse waves along a string)

নীতি ঃ—লম্বালম্বি দুই দিকে আবদ্ধ কোন তারকে উপর দিকে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে তারে তির্যক তরঙ্গ উত্থিত হয়। এই তরঙ্গের বেগ V তারের টান T (tension) ও রৈখিক ঘনাঙ্ক mর উপর নির্ভর করে। রৈখিক

ঘনাঙ্ক (linear density) = একক দৈর্ঘ্যে ভর (mass per unit length) $=\frac{l}{M}$ (মোট দৈর্ঘ্য $= l$, মোট ভর $=$ M)। এইবার V, T ও m এর সম্পর্ক নির্ণয় করিব।

A B দুইটি বন্ধনীতে C C তারকে সটান ভাবে বাঁধা। মনে কর তারের উপর টান $=$ T। এই টান তারের দৈর্ঘ্য বরাবর কাজ করে। তারকে E বিন্দুতে ধরিয়া পার্শ্বে টানিয়া অর্থাৎ তারের দৈর্ঘ্যের অভিলম্বে (perp. to the length of the string) ছাড়িয়া দাও। তারটি তির্যকভাবে কম্পিত হইতে থাকে। ইহার ফলে তারের a E b কুব্জ বা ভ্রষ্ট (displaced) অংশ প্রায় বৃত্তের চাপের (arc) আকার ধারণ করে। মনে কর তির্যক তরঙ্গ ঐ চাপের আকারে V বেগে তীর চিহ্ন অভিমুখে প্রবাহিত হয়। কোনও মুহূর্তে তারের

৩৬নং চিত্র

ab ক্ষুদ্র অংশের বৃত্তাকার গতি বিবেচনা কর। এই ab অংশ এত ক্ষুদ্র যে ইহার বক্রতা (curvature) সমান বলিয়া ধরা হয়। ab অংশ নির্দিষ্ট V বেগে চলে। নিউটনের নিয়মানুসারে বল ছাড়া গতি হয় না। এখানে তারের বৃত্তাংশের কেন্দ্র Oর অভিমুখী অভিকেন্দ্র (centripetal) বল abর উপর ক্রিয়া করিয়া ab এর বেগ উৎপন্ন করে। আবার তারের টান T এর a ও b বিন্দুতে E O অভিমুখী উপাংশ (components) দ্বারা এই বল সরবরাহ হয়।

মনে কর $a\text{E} = \text{E}b$. $a\text{E}b$ চাপের কেন্দ্র হইল O এবং $\angle a o \text{E} = \theta$। O হইতে a ও b যোগ কর। a ও bতে দুইটি স্পর্শক (tangent) TaP ও T'bP টান। মনে কর ইহারা P বিন্দুতে ছেদ করে। মনে কর a ও bতে তারের টান $=$ PaT ও PbT' এবং $a\text{E}b$ দৈর্ঘ্য $=$ S, $m =$ তারের রৈখিক ঘনাঙ্ক, R $= a\text{E}b$র ব্যাসার্ধ $= a\text{O}$ *or* Ob.

এখন T টানের POর অভিমুখে উপাংশ $=2T\sin\theta=aEb$ চাপের অভিকেন্দ্র বল $=\frac{m.S.V^2}{R}$

(Tএর POর উপর অভিলম্ব অভিমুখের উপাংশ পরস্পর বিপরীতমুখী হওয়াতে কাটাকুটি করে)

এখানে aEb খুব ক্ষুদ্র অংশ। ∴ θ খুব ক্ষুদ্র ∴ $\sin\theta=\theta$

$$\therefore\ 2T\sin\theta=2T\theta=\frac{m.S.V^2}{R}\ \text{কিন্তু}\ \theta=\frac{aE}{R}=\frac{S/_2}{R.}=\frac{S}{2R}$$

$$\therefore\ 2T.\frac{S}{2R}=\frac{m.S.V^2}{R}\ or\ T.S.=m.SV^2$$

$$\therefore\ V^2=\frac{T}{m}\ or\ V=\sqrt{\frac{T}{m.}}$$

৬৯। **তারে তির্যক তরঙ্গের কম্পনাঙ্ক** (Frequency of Transverse Vibration in a string): বিস্তৃত তারের ভিতর দিয়া তির্যক তরঙ্গের বেগ $=V=\sqrt{\frac{T}{m}}=\sqrt{\frac{Mg}{m}}$। এখানে T = টান, M = তারের শেষের ভর যাহার ফলে তারে T টান উৎপন্ন হয়, m = তারের রৈখিক ঘনাঙ্ক, g = অভিকর্ষ জাত ত্বরণ।

এখানে তারের কম্পনে মূল স্বর (fundamental tone) উৎপন্ন হয়। সেইজন্য তারের দুইটি প্রান্তে স্থির-বিন্দু ও ঠিক মাঝখানে স্পন্দন-বিন্দুর উদ্ভব হয়। সুতরাং দুই স্থির-বিন্দুর মধ্যে তারের দৈর্ঘ্য $l=\lambda/_2$ হয়। আমরা জানি $V=n\lambda$ ∴ $V=2nl$

$$\therefore\ 2nl=V=\sqrt{\frac{Mg}{m}}\ or\ n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{Mg}{m}}$$ । আবার যদি ρ = তারের উপাদানের ঘনাঙ্ক হয় ও r = তারের ব্যাসার্ধ হয়, তাহা হইলে $m=\pi r^2\rho$

অতএব $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{\pi r^2\rho}}=\frac{1}{2rl}\sqrt{\frac{T}{\pi\rho}}=\frac{1}{ld}\sqrt{\frac{T}{\pi\rho}}$ এখানে d = তারের ব্যাস $=2r$

৭০। তারে তির্যক কম্পনের নিয়ম (Laws of Transverse Vibration) :

তারের কম্পনাঙ্কের উপরোক্ত সূত্র $n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ হইতে আমরা কম্পনাঙ্কের নিয়মগুলি পাই। এই নিয়ম পাঁচটি :—

(১) **দৈর্ঘ্যের নিয়ম** (Law of length) : যদি কোনও কম্পমান তারের টান (T) ও রৈখিক ঘনাঙ্ক (m) স্থির থাকে তবে তারের কম্পনাঙ্ক দৈর্ঘ্যের ব্যাস্তানুসারে পরিবর্তিত হয় অর্থাৎ $n \propto \frac{1}{l}$ যখন T ও m ধ্রুবক হয়। এখানে মনে রাখিতে হইবে যে তারের মূল কম্পনাঙ্ক শব্দিত হইতেছে।

(২) **টানের নিয়ম** (Law of tension) : কোনও তারের কম্পনাঙ্ক টানের বর্গমূলের সহিত সমানুপাতে পরিবর্তিত হয়, অর্থাৎ $n \propto \sqrt{T}$ যখন l ও m ধ্রুবক হয়।

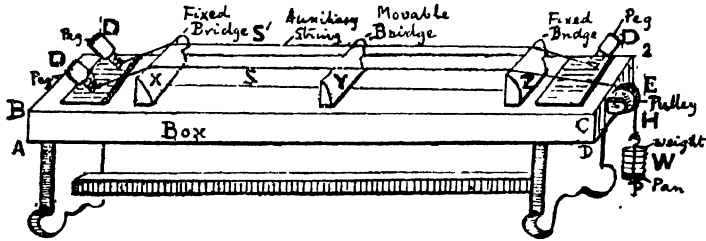
(৩) **ভরের নিয়ম** (Law of mass) : কোনও তারের কম্পনাঙ্ক ঐ তারের রৈখিক ঘনাঙ্কের বর্গমূলের ব্যাস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয় অর্থাৎ $n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$ যখন l ও T ধ্রুবক হয়।

ভর সম্বন্ধীয় সূত্রকে দুইটি ভাগে ভাগ করা যায় :—

(i) **ব্যাসের নিয়ম** (Law of diameter) : l, P, T স্থির থাকিলে $n \propto \frac{1}{d}$ অর্থাৎ তারের কম্পনাঙ্ক তারের ব্যাসের ব্যাস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়।

(ii) **ঘনাঙ্কের নিয়ম** (Law of density) : তারের কম্পাঙ্ক উহার উপাদানের ঘনাঙ্কের বর্গমূলের ব্যাস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয় অর্থাৎ $n = \frac{1}{\sqrt{\rho}}$ যখন l, d ও T ধ্রুবক হয়।

৭১। সনোমিটার (Sonometer or Monochord) **যন্ত্র** :— ইহা একটি আয়তক্ষেত্রিক ফাঁপা কাঠের বাক্স A B C D। ইহা এক মিটার লম্বা ও ২০ সেঃ মিঃ চওড়া। ইহার একদিকে দুইটি গোঁজ (peg) D D,

আছে। X Z দুইটি প্রিজম আকারের স্থির কাঠের টুকরা (fixed bridge) Y হইল সঞ্চরণশীল কাঠের (movable) টুকরা। E একটি ক্ষুদ্র কপিকল (pulley)। P হইল H হুক যুক্ত পাল্লা (pan)। কপিকল ও D গোঁজ ঠিক এক রেখায় আছে। পরীক্ষাধীন তার S এর এক প্রান্ত D গোঁজের সঙ্গে বাধা থাকে এবং অপর প্রান্ত কপিকলের উপর গিয়া H হুকের সঙ্গে বাধা থাকে।

৩৭নং চিত্র

পাল্লায় W ওজন রাখিয়া তারকে টান করা হয়। মনে রাখিবে এই ওজন কখনও তারেব সহন-ভারের অর্ধেকের বেশী না হয়। S' তারের এক প্রান্ত D_1 গোঁজে ও অপর প্রান্ত D_2 গোঁজে বাধা থাকে। S তারটি কাঠের টুকরাগুলির উপর দিয়া যায়। টুকরা এদিক ওদিক সরাইয়া কম্পমান তারের দৈর্ঘ্য ইচ্ছামত বাড়ান বা কমান যায়। তারের পার্শে একটি মিটার স্কেল থাকে। স্কেল দেখিয়া তারের দৈর্ঘ্য মাপা যায়। সনোমিটারের বাক্সটি অনুনাদের কাজ করে। ইহাতে শব্দের তীব্রতা বৃদ্ধি পায়।

৭২। সনোমিটারের সাহায্যে তারের তির্যক কম্পনের নিয়ম পরীক্ষা ঃ—

(ক) **প্রথম নিয়ম** $\left(n \propto \frac{1}{l}\right)$ঃ এই সূত্র পরীক্ষার জন্য অনেকগুলি Tuning fork লও যাহাদের কম্পনাঙ্ক যথাক্রমে n_1, n_2, n_3 ইত্যাদি হয়। যে তারের কম্পনাঙ্ক পরীক্ষা করা হইবে সেইটির একপ্রান্ত গোঁজের সহিত বাঁধ ও অপর প্রান্ত পাল্লার সহিত বাঁধ যাহাতে তারটি সটানভাবে থাকে। পাল্লায় সুবিধামত ওজন রাখ। এখন একটি Tuning fork-কে কম্পিত করিয়া সনোমিটার বাক্সের উপর রাখ। উদ্দীপিত কম্পনের জন্য বাক্স হইতে জোর শব্দ

উত্থিত হইবে। এইবার তারকে কম্পিত করিয়া শব্দ উৎপন্ন কর। Y টুকরার অবস্থান এধার-ওধার কর যতক্ষণ না তারের শব্দের কম্পনাঙ্ক fork-এর কম্পনাঙ্কের সহিত সমন্বয় বা একতান (unison) না হয়।

মনে কর প্রথম fork-এর n_1 কম্পনাঙ্কের সহিত l_1 দৈর্ঘ্যের তারের সুরের মিল হয়। মনে কর এইরূপ দ্বিতীয় fork-এর n_2 কম্পনাঙ্কের সহিত l_2 দৈর্ঘ্যের একতান হয় এবং তৃতীয় fork-এর n_3 কম্পনাঙ্কের সহিত l_3 দৈর্ঘ্যের একতান করা হয়। গণনা করিয়া দেখা যাইবে যে $n_1 l_1 = n_2 l_2 = n_3 l_3$ অর্থাৎ কম্পনাঙ্ক ও দৈর্ঘ্যের গুণফল $= n \times l =$ ধ্রুবক যদি T ও m একই রাখা হয়।

এখানে পাল্লায় একই ওজন রাখিয়া T টানকে একই রাখা হইয়াছে। একই তারে পরীক্ষা করা হয় বলিয়া mও স্থির থাকে। $\therefore$ $n\, l =$ ধ্রুবক।

আমরা যদি n-কে ভুজ ধরিয়া ও l-কে কোটি ধরিয়া ছক কাগজে লেখ আঁকি তাহা হইলে লেখ (graph) একটি আয়তক্ষেত্রিক পরাবৃত্ত (rectangular hyperbola) হইবে।

(খ) দ্বিতীয় নিয়ম $(n \propto \sqrt{T})$:

পরীক্ষামূলক তারটি T_1 টানের সাহায্যে বিস্তারিত কর। মনে কর T_1 টানে এই তারটির l দৈর্ঘ্যের কম্পনাঙ্ক $= n_1$ যাহা একটি Tuning fork-এর সহিত একতান করিয়া জানিয়া রাখা হয়। আর একটি তার প্রথমোক্ত তারের পাশেই বিস্তার কর। ইহাকে **সহকারী** (auxiliary) **তার** বলা হয়। সহকারী তারটির দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করিয়া পরীক্ষামূলক তারের সহিত একতান কর। মনে কর সহকারী তারের দৈর্ঘ্য l_1 ; এইবার P পাল্লায় ওজন বাড়াইয়া পরীক্ষামূলক তারের টান পরিবর্তন করিয়া T_2 কর কিন্তু উহার দৈর্ঘ্য পূর্বের মত রাখ। মনে কর এখন ইহার কম্পনাঙ্ক $= n_2$। এইবার সহকারী তারের দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করিয়া পরীক্ষামূলক তারের সুরের সহিত একতান কর। মনে কর সহকারী তারের দৈর্ঘ্য $= l_2$। যেহেতু সহকারী তারকে একই টানে রাখা হইয়াছে ; অতএব $n_1 : n_2 = l_2 : l_1$ (দৈর্ঘ্যের **নিয়ম** অনুসারে)। ঠিকভাবে পরীক্ষা করিলে আমরা দেখিব যে $T_1 : T_2 = l_2^2 : l_1^2 = n_1^2 : n_2^2$।

$\therefore \frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$ অর্থাৎ $n \propto \sqrt{T}$, যখন l ও m স্থির থাকে।

(গ) **তৃতীয় নিয়ম** $\left(n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}\right)$:

এই নিয়ম পরীক্ষা করিতে হইলে একাধিক তারের প্রয়োজন যাহাদের রৈখিক ঘনাঙ্ক (mass per unit length) বিভিন্ন। একটি তারের রৈখিক ঘনাঙ্ক m; উহাকে একটি নির্দিষ্ট টান T দ্বারা বিস্তারিত কর। মনে কর উহার দৈর্ঘ্য $= l$। ইহার পাশে একটি সহকারী তার বিস্তারিত কর এবং উহার টান সমান রাখিয়া দৈর্ঘ্য পরিবর্তন কর। এখন পরীক্ষামূলক তারের সহিত একতান কর। মনে কর উহা করিতে সহকারী তারের দৈর্ঘ্য $= l_1$ হয় এবং উহার কম্পনাঙ্ক $= n_1$ (n_1 আমাদের Tuning fork এর সাহাজ্যে জানা আছে।)

এখন প্রথম পরীক্ষামূলক তারের স্থানে দ্বিতীয় পরীক্ষামূলক তার রাখা হয় যাহার রৈখিক ঘনাঙ্ক $= m_2$। এই তারকে T_1 টানের দ্বারা বিস্তারিত কয় এবং উহাদেরও দৈর্ঘ্য l রাখ। এইবার সহকারী তারের দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করিয়া দ্বিতীয় পরীক্ষামূলক তারের কম্পনাঙ্কের সহিত একতান কর। মনে কর এইক্ষেত্রে পরীক্ষামূলক তারের দৈর্ঘ্য $= l_2$ এবং ইহার কম্পনাঙ্ক $= n_2$।

সহকারী তারকে জানা কম্পনাঙ্কের fork এর সহিত একতান করিয়া সহজেই n_1 ও n_2 বাহির করা যায়। দুইটি পরীক্ষামূলক তারের রৈখিক ঘনাঙ্ক নিম্নলিখিত উপায়ে বাহির কর। প্রত্যেকটি ৫০ সেঃ মিঃ দৈর্ঘ্য লইয়া তুলাদণ্ডের সাহায্যে ভর নির্ণর কর এবং ঐ ভরকে ৫০ দিয়া ভাগ করিয়া রৈখিক ঘনাঙ্ক নির্ণয় কর।

সহকারী তারের বেলায় $n_1 : n_2 = l_2 : l_1$ পরীক্ষা করিয়া দেখিব যে $m_1 : m_2 = l_1^2 : l_2^2$, অতএব $m_1 : m_2 = n_2^2 : n_1^2$ কিংবা $\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$

(ঘ) **চতুর্থ নিয়ম** $\left(n = \frac{1}{d}\right)$: একটি পদার্থে প্রস্তুত বিভিন্ন ব্যাসের দুইটি তার লও। মনে কর l ও l_2 সহকারী তারের দৈর্ঘ্য যাহা পরীক্ষাধীন দুইটি তারের সমান দৈর্ঘ্যের সঙ্গে একতান হয়। ∴ প্রথম নিয়মানুসারে $n_1/n_2 = l_2/l_1$ কিন্তু পরীক্ষা হইতে $l_2/l_1 = \frac{d_2^2}{d_1}$ ∴ $\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$.

৭৩। **সনোমিটার সাহায্যে তীক্ষ্ণতা নির্ণয়** (Determination of pitch by Sonometer): যে শব্দের (মনে কর একটি Tuning fork-এর) তীক্ষ্ণতা নির্ণয় করা দরকার তাহার সহিত একটি সনোমিটার তারের একতান কর। Tকে ধ্রুবক রাখিয়া Y কাঠের টুক্‌রা সরাইয়া তারটির দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করিয়া এইরূপ তারের একতান সাধারণতঃ করা হইয়া থাকে। ইহার পর তারের দৈর্ঘ্য, তারের রৈখিক ঘনাঙ্ক ও P পাল্লায় ওজন বাহির কর। এইবার Fork-এর কম্পনাঙ্ক নিম্নলিখিত সমীকরণের দ্বারা পাওয়া যায়:

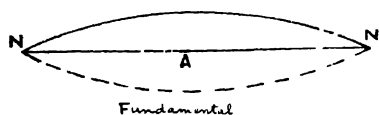
$$n = \frac{1}{2l} \times \sqrt{\frac{T}{m}}$$

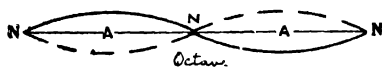
T – টান $= wg$

m – রৈখিক ঘনাঙ্ক

l – দুইটি টুক্‌রার মধ্যে তারের দৈর্ঘ্য।

৭৪। **বিস্তারিত তারের উর্ধতান** (Harmonics): (১) যখন সমস্ত তারটি **একটি অংশে** (segment) কম্পিত হয় তখন উহার দুইদিকে দুইটি স্থির-বিন্দু এবং মধ্যে স্পন্দন-বিন্দুর উদ্ভব হয়। তারের মাঝে বেহালার ছড় টানিলে কিংবা তারের মাঝে আঘাত করিলে এইরূপ স্বর পাওয়া যায়। এই স্বরকে **মূল স্বর** (fundamendal) বলা হয়।

৩৮নং চিত্র

মূল স্বরে কম্পমান তারের দৈর্ঘ্য $l = \frac{\lambda}{2}$

$$\therefore \ n = \frac{V}{\lambda} = \frac{V}{2l}$$

এখানে V – তারের মধ্যে তির্যক তরঙ্গের বেগ

λ – তরঙ্গ দৈর্ঘ্য

n – কম্পনাঙ্ক (মূল স্বরের)।

(২) এইবার তারের মধ্য বিন্দুতে একটি পালক দিয়া ছুঁইয়া যদি তারের $\frac{1}{4}$ দৈর্ঘ্যে আঘাত করা হয়, তাহা হইলে তারটি **দুইটি সমান অংশে** কম্পিত

হইবে। এখন তারে দুইটি স্পন্দন-বিন্দু ও তিনটি স্থির-বিন্দুর (তারের দুইটি প্রান্তে দুইটি ও মাঝে একটি) উদ্ভব হইবে।

এইবার কম্পমান তারের দৈর্ঘ্য একটি তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের সমান।

$$\text{অতএব} \quad n_1 = \frac{V}{l}.$$

$\therefore \quad n_1 = 2n$। এই সুরের কম্পনাঙ্ক মূল সুরের কম্পনাঙ্কের দ্বিগুণ হইবে। এই সুরকে সঙ্গীত শাস্ত্রে **প্রথম ঊর্ধ্বতান** (Higher octave বা First Harmonic) বলে।

(৩) এইরূপে তারটির $\frac{1}{3}$ দৈর্ঘ্য অন্তর দুইটি পালক দিয়া ছুঁইয়া তারটির তিনটি ছোট অংশের মাঝে যদি আঘাত করা যায় তাহা হইলে তারটি **তিন সমান অংশে** কম্পিত হইবে। এই সুরে তারে চারটি স্থির-বিন্দু ও তিনটি স্পন্দন বিন্দুর উদ্ভব হইবে।

এখন $\lambda = \frac{2}{3}l$;

$$n_2 = \frac{V}{\frac{2}{3}l} = \frac{3V}{2l} \quad \therefore \quad n_2 = 3n$$

n_2 মূল সুর n এর তিন গুণ। এই সুরকে **দ্বিতীয়** ঊর্ধ্বতান (Second Harmonic) বলা হয়।

এইরূপে দেখা যায় তারের বিভিন্ন অংশের কম্পনে Harmonic-এর কম্পনাঙ্ক মূল সুরের (Fundamental) কম্পনাঙ্কের সরল গুণিতক (Simple multiples) হয়।

অঙ্ক 1. Two similar strings of a sonometer are tuned to unison. One is 36 inches long and stretched by 100 lbs. Find the weight on the other one which is 45 inches long. (C. U. 1941)

এখানে $T_1 = (১০০ \times ৩২)$ পাউণ্ডাল, $l_1 = ৩৬$ ইঞ্চি, $l_2 = ৪৫$ ইঞ্চি, $T_2 =$ কত ?

$$\text{দ্বিতীয় নিয়মানুসারে} \quad \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} = \frac{l_2}{l_1} \quad \therefore \quad T_2 = T_1 \times \left(\frac{l_2}{l_1}\right)^2$$

$= ৫০০০০ = ১৫\cdot২৬$ পাউণ্ড ওজন।

2. Two tuning forks when sounded together give 4 beats per second. One is in unison with a length of 128 cms of a monochord string under constant tension and the other with 130 cms of the same string. What are the frequencies of the forks ? (C. U. 1939)

মনে কর n_1 ও n_2 = তুই forks-এর কম্পনাঙ্ক

প্রথম নিয়মানুসারে $\frac{n_1}{n_2} = \frac{l_2}{l_1} = \frac{১৩০}{১২৮} = \frac{৬৫}{৬৪}$ বা $n_1 = \frac{৬৫}{৬৪} n_2$

$\therefore \quad n_1 > n_2 \quad \therefore \quad n_1 - ৪ = n_2$

$৬৪n_1 = ৬৫n_2 \cdots (১)$ এবং $n_1 - ৪ = n_2 \cdots (২)$ ((২)কে ৬৫ দিয়া গুণ করিয়া)

$\therefore \quad n_1 = ২৬০$

3. A tuning fork is in unison with the fundamental note of a stretched string. Readings are the following : length of the string = 35 cms, mass of one metre of the string = ·323 gms., loads applied = 4 kilograms. Calculate the frequency. (P. U. 1924)

এখানে $l = ৩৫$ সেঃ মিঃ, $m = \frac{·৩২৩}{১০০} = ·০০৩২৩$ গ্রাম/প্রতি সেঃ মিঃ,

$T = (৪ \times ১০০০ \times ৯৮১)$ ডাইন

$$\therefore \quad n = \frac{১}{২l}\sqrt{\frac{T}{m}} = \frac{১}{২ \times ৩৫}\sqrt{\frac{৪০০০ \times ৯৮১}{·০০৩২৩}}$$

$\therefore \quad n = ৪৯৭$ প্রতি সেকেণ্ডে।

4. Two similar strings are in unison. One is 36 inches long and stretched by 100 lbs. The other is stretched by 220 lbs. Find its length. (C. U. 1938)

মনে কর নির্ণেয় দৈর্ঘ্য = l

আমরা জানি $l = \frac{১}{২n}\sqrt{\frac{T}{m}}$ বা $\frac{l}{\sqrt{T}}$ ধ্রুবক যদি $n_৪$ ও m ধ্রুবক হয়

এখানে তুই তারের শব্দের n সমান এবং তুই তারের m সমান

$$\frac{l}{\sqrt{২২০g}} = \frac{৩৬}{\sqrt{১০০g}} \text{ বা } l = ৩৬\sqrt{\frac{২০০}{১০০}} = ৫৩·৩৩ \text{ ই.}$$

5. A string 24 inches long weigh half an ounce and is stretched on a sonometer with a weight of 81 lbs. Find the frequency of the note emitted when struck. (Dac. U. 1923)

এখানে T = ৮১ × ৩২ পাউণ্ডাল, l = ২৪″ ∴ $m = (\frac{১}{২} \times \frac{১}{১৬}) \div ২৪$ পাঃ প্রতি ইঞ্চি।

$$n = \frac{১}{২ \times ২৪}\sqrt{\frac{৮১ \times ৩২}{\frac{১}{২} \times \frac{১}{১৬} \times \frac{১}{২৪}}} = ৩০^{\cdot}৪ \text{ প্রতি সেকেণ্ডে,}$$

প্রশ্ন

1. State and explain the laws of vibration of a stretched string. Why are the strings of musical instruments mounted on hollow wooden boxes?

A brass wire (density 8·4), 100 cm. long and 1·8 mm. in diameter is stretched by a weight of 20 kilograms. Calculate the number of vibrations which it makes per second when sounding its fundamental note. ($g = 980$ cm. per sec^2.)

[Ans. 47·88 nearly] (C. U. 1930]

2. A sonometer is stretched with a force of 200 gms. weight.

(*a*) The force is increased to 800 grammes, (*b*) the length of the string is halved. How is the pitch of the note emitted by the string affected in each case? [C. U. 1912]

[Ans. (*a*) $n_2 = 2n_1$; (*b*) $n_2 = 2n_1$ i. e. the pitch is doubled in each case]

3. The string of a monochord vibrates 100 times a second. Its length is doubled and its tension is altered until it makes 150 vibrations a second. What is the relation of the new tension to the original? (C. U. 1924)

[Ans: $T_2 : T_1 : 9 : 1$]

4. What will be the frequency of the note emitted by a wire 50 cm. in length when stretched by a weight of 25 kilograms, if 2 meters of the wire are found to weigh 4·79 grams? (C. U. 1934)

[Ans: 320 per sec.]

5. On what factors does the frequency of vibration of a stretched string depend? (All. 1925 ; cf C. U. '46)

When the wire of a sonometer is 73 cm. long, it is in tune with a tuning-fork. On shortening the wire by 5 mm. it makes 3 beats a second with the fork. What is the frequency of the fork?

(Pat. 1939)

6. A string 24 inches long weighs half an ounce and is stretched on a sonometer with a weight of 81 lbs. Find the frequency of the note emitted when struck. (Dac. 1934)

[Ans: 101·8]

7. State the laws of transverse vibration of a stretched string and describe experiments to verify them. (C. U. 1925, '34, '36, '41; All. '27, '29, '45; Pat. '23, '27, '33, '37, '40, '42)

8. Wires of brass and steel are stretched on a sonometer and are adjusted to emit the same fundamental note. The two wires are of equal length but the tension of the brass wire is 5 kg. weight and of the iron 3 kg. weight. Assuming that the steel wire has a diameter of 0·8 mm, find that of the brass. (C. U. 1946)

$$\left\{\text{Ans: } 0{\cdot}8\sqrt{\frac{5 \text{ density of iron}}{3 \text{ density of brass}}}\text{ mm.}\right\}$$

9. Show how the frequency of a tuning fork is determined with the help of a stretched string. (Pat. 1937; All. '45, C. U. '45)

10. Given two tuning forks, how would you determine the pitch of the note emitted by one of them if that of the other is known? (C. U. 1919, Pat. 1930)

বায়ুস্তম্ভের কম্পন (Vibration of Air Column)

৭৫। **বদ্ধ বায়ুর কম্পন** (Vibration in enclosed air): যদি কোন জায়গার (যেমন নল, শিশি, শাঁখ) বদ্ধ বায়ু হঠাৎ আন্দোলিত হয় কিংবা সেই জায়গার মুখে হঠাৎ বায়ুর চাপের হ্রাস-বৃদ্ধি হয় তবে ভিতরের বায়ু কম্পিত হয় এবং শব্দতরঙ্গও উত্থিত হয়। খালি শিশির মুখে বা শাঁখের মুখে ফুঁ দিলে, চাবির ফাঁপা কাটির মুখে ফুঁ দিলে কিংবা বদ্ধ বোতলের মুখের ছিপি হঠাৎ খুলিয়া ফেলিলে এইরূপে ভিতরস্থ বায়ুর কম্পনে শব্দ উত্থিত হয়। নানা প্রকার নলাকৃতি বাদ্যযন্ত্রে বা অর্গান নলে (Organ Pipe যেমন flute, clarionet) নলের বদ্ধ বায়ুকে কম্পিত করিয়া সুমধুর স্বর উৎপন্ন করা হয়। এই সব যন্ত্রে বায়ুর কম্পন হইতে স্বর উত্থিত হয় বলিয়া ইহাদিগকে Wind Instrument বলে। আমরা পূর্বে দেখিয়াছি যে কোন বদ্ধ বায়ুস্তম্ভের মুখে কম্পমান trening

fork রাখিয়া বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করিলে স্তম্ভটি অনুনাদিত হয় এবং শব্দের তীব্রতা বাড়িয়া যায়।

৭৬। **অর্গান নল:** এই সব যন্ত্রে সাধারণতঃ একটি সমপ্রস্থচ্ছেদ (uniform cross-section) বিশিষ্ট ফাঁপা নল AB থাকে (৪নং চিত্র)। ইহার A মুখ (mouth-piece) খুব সরু হয়। এই মুখ দিয়া জোরে বাতাস চালান হয়। এই বাতাস সরু ফালি ছিদ্র (slit) B দিয়া বাহির হইয়া ছিদ্রের মুখে স্থাপিত ধারাল প্রান্ত C (tip)তে ধাক্কা খায়। এই ধাক্কার জোরে BD বদ্ধ বায়ুস্তম্ভ কম্পিত হয়। ইহাতে শব্দ উত্থিত হয়। বাঁশী হইল সরলতম অর্গান নল। অর্গান নল দুই প্রকারের হয়; যথা (ক) **খোলা** (open) অর্গান নল, যাহার দুই মুখ খোলা। (খ) **বদ্ধ** (closed) যাহার এক মুখ বদ্ধ।

৭৭। **অর্গান নলে বায়ুর কম্পন: সাধারণ বিবরণ:** যখন বায়ুস্রোত ধারাল C প্রান্তে বাধা পায় তখন বায়ুস্রোতটি ছোট ছোট ঘূর্ণিতে পরিণত হয়। ঐ ঘূর্ণিগুলি নলের বাহিরে ও ভিতরে প্রবাহিত হয়। Bএর নিকট বায়ুস্রোত একবার এগিয়ে চলে পর মুহূর্তে আবার পিছিয়ে পড়ে। উহার ফলে বায়ু কম্পিত হয়। ঐ কম্পন-তরঙ্গ একবার নলের বাহিরের দিকে ও পর মুহূর্তে ভিতর দিকে প্রবাহিত হয়। যদিও A ছিদ্র দিয়া বায়ু এক রকম ভাবেই প্রবাহিত হয় তবুও এইরূপ ঘূর্ণির ফলে ঐ ধারাল প্রান্তের দুই পাশেই পর্যায়ক্রমে ধাক্কার সৃষ্টি হয়। মনে রাখিবে নলে বায়ুস্তম্ভের কম্পন হইল অনুদৈর্ঘ্য (longitudinal) কম্পন। ইহার ফলে সুমধুর সুর উত্থিত হইয়া থাকে, ঐ শব্দকে সাধারণতঃ "Edge tone" বলা হয়। এইরূপে দেখা যায় যে প্রতি সেকেণ্ডে যতগুলি ঘূর্ণির সৃষ্টি হয় তাহাই শব্দের কম্পনাঙ্ক। বায়ুর গতি জোর হইলে এই ঘূর্ণির সংখ্যা বাড়িয়া থাকে এবং উহার ফলে সুরের তীক্ষ্ণতা (pitch) বেশী হয়।

যখন বায়ু প্রবাহের গতি সম (uniform) হয় তখন নলের মূল সুর (fundamental) উত্থিত হয়; এই সুরের কম্পনাঙ্ক সর্বাপেক্ষা কম। নলের মূল সুর নলের দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে। নল যত লম্বা হয় মূল সুর ততই সম কম্পনাঙ্কের হইয়া থাকে।

আবার বায়ুর গতি যত বাড়ান যায় ততই চড়া সুরের শব্দ সৃষ্টি হয়। ঐ চড়া সুর মূল সুরের দ্বিগুণ, ত্রিগুণ, চতুর্গুণ Harmonics ইত্যাদি।

৭৮। **নলে স্থির তরঙ্গ** (Sationary Vibration in Organ Pipe): (ক) **বদ্ধ নল**ঃ—বদ্ধ নলের A মুখে ফুঁ দিলে বাতাস C প্রান্তে ধাক্কা খায়। ইহাতে Cএর উপরে নলের ভিতরের বাতাস সংকুচিত হয় এবং এই সংকোচন তরঙ্গ বদ্ধ কঠিন (rigid) প্রান্ত Bতে আসে এবং স্থিতিস্থাপকতা গুণের জন্য সংকুচিত বায়ু পূর্ব চাপে ফিরিতে চেষ্টা করে কিন্তু সম্মুখে শক্ত বাধা B থাকায় উহা প্রতিহত হয় বলিয়া উহা পিছনের বায়ুকে সংকুচিত করে। এইরূপ আপতিত সংকোচন তরঙ্গ B প্রান্ত হইতে মূল তরঙ্গের বিপরীত দিকে সংকোচন তরঙ্গরূপেই প্রতিফলিত হইয়া খোলা প্রান্ত Aতে ফিরিয়া আসে। খোলা প্রান্তে কোন বাধা না থাকায় সংকোচন তরঙ্গের চাপ বাহিরের বাতাসকে ঠেলিয়া দিয়া নিজে চাপমুক্ত হয় সুতরাং খোলা মুখে তরঙ্গের প্রকৃতি বদলাইয়া যায় এবং খোলা প্রান্ত হইতে তনুভবন তরঙ্গ প্রতিফলিত হইয়া নলের ভিতর দিকে ফিরিয়া যায়। এই তনুভবন তরঙ্গ বদ্ধ প্রান্তে প্রতিফলিত হইয়া খোলা প্রান্তে আসিলে সংকোচন তরঙ্গরূপে আবার প্রতিফলিত হয়। এই সকল প্রতিফলিত তরঙ্গ ও মূল তরঙ্গ সম্পূর্ণ এক প্রকার কিন্তু ইহারা বিপরীতমুখী হয় সুতরাং ইহাদের সম্মিলিত ক্রিয়ায় নলের ভিতর **অনুদৈর্ঘ্য স্থির তরঙ্গের** সৃষ্টি হয়। নলের খোলা প্রান্তে বায়ু সর্বাধিক বিস্তারের সহিত ভিতরে বাহিরে নলের দৈর্ঘ্য বরাবর কম্পিত হইতে থাকে। সেইজন্য খোলা প্রান্ত স্থির তরঙ্গের একটি স্পন্দন-বিন্দু। বদ্ধ প্রান্তের বায়ু স্বাধীনভাবে কম্পিত হইতে পারে না কারণ ইহা খুব কঠিন তল (rigid wall)। সেইজন্য বদ্ধ প্রান্ত স্থির তরঙ্গের একটি স্থির-বিন্দু। স্পন্দন-বিন্দু হইতে কম্পনের বিস্তার ক্রমশঃ নলের ভিতর কমিতে কমিতে বদ্ধ প্রান্তে একবারে শূন্য হয়। কিন্তু সকল ক্ষেত্রেই স্থির তরঙ্গের সর্ত পালিত হইবে।

(খ) **খোলা নল**: খোলা নলের দুই প্রান্তই খোলা থাকে সুতরাং দুই প্রান্তেই বায়ু স্বাধীনভাবে নলের দৈর্ঘ্য বরাবর কম্পিত হইতে পারে। সুতরাং দুই প্রান্তেই প্রতিফলিত তরঙ্গের প্রকৃতি বদলাইয়া যায়। মূল ও প্রতিফলিত তরঙ্গ

অভিন্ন হয় কিন্তু বিপরীতমুখী হয়। ইহাদের সম্মিলিত ক্রিয়ায় নলের ভিতর অনুদৈর্ঘ্য স্থির তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। নলের উভয় খোলা প্রান্তে বায়ু সর্বাধিক বেশী বিস্তারের সহিত কম্পিত হয় সুতরাং দুই প্রান্তে স্পন্দন-বিন্দুর উদ্ভব হয়।

৭৯। সমান দৈর্ঘ্য বদ্ধ ও খোলা অর্গান নলের মূল সুর (Fundamentals of closed and open organ pipe)

(ক) **বদ্ধনল :** এক মুখ বদ্ধ নলে যে স্থির তরঙ্গ সৃষ্ট হয় তাহার কম্পনাঙ্ক বিভিন্ন হইতে পারে। যখন বদ্ধমুখে স্থির-বিন্দু N ও খোলা মুখে স্পন্দন-বিন্দুব Aর উদ্ভব হয় তখন এই সুরের সর্বাপেক্ষা কম কম্পনাঙ্ক হয়। স্থির তরঙ্গের বেলায় আমরা দেখিয়াছি যে পাশাপাশি স্থির ও স্পন্দন বিন্দুর ভিতর দূরত্ব $=\frac{\lambda^1}{4}$(তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $=\lambda_1$)। সুতরাং বদ্ধ নলের দৈর্ঘ্য $l=\frac{\lambda^1}{4}$

$\therefore$ তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য $\lambda_1=4l$। এই সুবই হইতেছে বদ্ধ নলের **মূল সুর** (Fundamental)

যদি কম্পনাঙ্ক $=n_1$ এবং শব্দবেগ $=$ V হয় তবে $V=n_1\lambda$

$\therefore \quad n_1=\frac{V}{\lambda}=\frac{V}{4l}$। ইহাই হইবে মূল সুরের কম্পনাঙ্ক

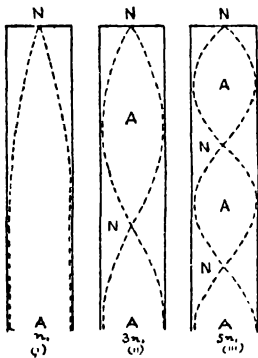
(খ) **খোলানল :** খোলা নলের মূল সুরের বেলায় দুই মুখেই স্পন্দন বিন্দু Aর উদ্ভব হইবে কারণ দুই মুখই খোলা।

নলের ঠিক মাঝে স্থির-বিন্দু Nএর উদ্ভব হয়। $\therefore$ নলের দৈর্ঘ্য $l=\lambda^1/_2$, যদি l, n^1 ও λ^1 খোলা নলের যথাক্রমে দৈর্ঘ্য, মূল সুরের কম্পনাঙ্ক ও তবঙ্গ-দৈর্ঘ্য হয় তবে $\lambda^1=2l$ হয়।

আর $V=n^1\lambda^1 \quad \therefore \quad n^1=\frac{V}{\lambda}=\frac{V}{2l}=2n_1$

অতএব দেখা যায় যে খোলা নলের মূল সুরের কম্পনাঙ্ক একই দৈর্ঘ্যের বদ্ধ নলের মূল সুরের কম্পনাঙ্কের দ্বিগুণ। সুতরাং একটি খোলা অর্গান নলে যখন মূল সুর উত্থিত হয় যদি তখন পিছনের মুখ চাপিয়া ধরা যায় তবে ইহা বদ্ধ নলে

পরিণত হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে সুরের কম্পনাঙ্ক ঠিক খোলা নলের অর্ধেক হইবে অর্থাৎ সুরটি 'খাদে' নামিবে। অপর পক্ষে যদি মূলসুর উত্থিত হইবার সময় বদ্ধ নলের মুখ খুলিয়া দেওয়া যায় তবে সুরের কম্পনাঙ্ক দ্বিগুণ হইবে—সুর চড়া হইবে।

৮০। অর্গান নলের উর্ধতান (Harmonics): অর্গান নলে বায়ু-প্রবাহের বেগের উপর উহার কম্পনাঙ্ক নির্ভর করে। জোরে বায়ু বহিলেও নলের ভিতর স্থির তরঙ্গের প্রকৃতি অপরিবর্তিত থাকিবে কিন্তু স্পন্দন-বিন্দু ও স্থির-বিন্দুর সংখ্যা বাড়িয়া যাইবে এবং মূল সুরের উর্ধতান উত্থিত হইবে।

(ক) বদ্ধনল: (i) বদ্ধনলের বেলায় সকল সময়েই বদ্ধমুখে স্থির-বিন্দু N এবং খোলা মুখে স্পন্দন-বিন্দু A হইবে। (ii) মূল সুরের (চিত্রে I) পরবর্তি সম্ভাব্য উচ্চ কম্পনাঙ্কের সুরের সৃষ্টি করিতে হইলে নলের বদ্ধ প্রান্তে একটি স্থির-বিন্দু, মুক্ত প্রান্তে একটি স্পন্দন-বিন্দু এবং মধ্যে আরও একটি স্থির-বিন্দু ও স্পন্দন-বিন্দু উদ্ভব করাইতে হইবে, অতএব এখন নলের দৈর্ঘ্য $l=\frac{3}{4}\lambda \therefore \lambda_2=\frac{4}{3}l$ (λ_2 = তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য) যদি এই সুরের কম্পনাঙ্ক n_2 এবং মূল সুরের কম্পনাঙ্ক $=n_1$ হয় তবে

৩৯ নং চিত্র

$n_2=\frac{3V}{4l}$, অতএব $n_2=3n_1$। এই তরঙ্গের আকৃতি মূলসুরের তরঙ্গের এক তৃতীয়াংশ হইবে (চিত্রে II)

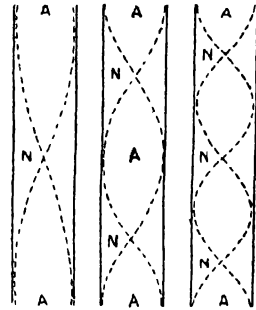
(*iii*) ইহার পরবর্তি উর্ধতানের উদ্ভবের জন্য আরও জোর বাতাস প্রবাহ দরকার। III চিত্রে বায়ু স্তম্ভের মধ্যে যে স্থির তরঙ্গের উদ্ভব হইবে তাহা দেখান হইল। মুখে স্পন্দন-বিন্দু ও শেষের দিকে স্থির-বিন্দু হইবে। মধ্যে আরও দুইটি করিয়া স্পন্দন-বিন্দু ও স্থির-বিন্দু উৎপন্ন হইবে।

যদি এই স্বরের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য $=\lambda_3$ স্বরের কম্পনাঙ্ক $=n_3$ হয় তবে $\lambda_3=\frac{4}{5}l$

$$\therefore \quad n_3=\frac{5V}{4l}\ ;\ n_3=5n_1$$

এইরূপে দেখান যায় যে বন্ধ নলের বেলায় মূল স্বরের কম্পনাঙ্কের সহিত উর্ধ্বতানের (Harmonics) কম্পনাঙ্কের অনুপাত 1 : 3 : 5 : 7 ইত্যাদি হয় অর্থাৎ কেবল মাত্র অযুগ্ম *(odd)* উর্ধ্বতানগুলি শব্দিত হয়। বন্ধ অর্গান নলে সকল রকমের উর্ধ্বতানের স্বর থাকে না বলিয়া বন্ধ অর্গান নলের স্বর খুব মিঠে হয় না।

(খ) **খোলা নল :** *(i)* খোলা নলে মূল স্বর উত্থিত হইলে দুই খোলা মুখেই স্পন্দন-বিন্দু এবং নলের ঠিক মাঝখানে স্থির-বিন্দু উৎপন্ন হয়। (বাম পাশের ছবি)

(ii) মূল স্বরের পরবর্তি উর্ধ্বতানের বেলায় নলের দুই মুখেই স্পন্দন-বিন্দু থাকিবে, মাঝে আর একটি স্পন্দন-বিন্দু ও দুইটি স্থির-বিন্দু উৎপন্ন হইবে। যদি কম্পনাঙ্ক $=n^2$ ও তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য $=\lambda^2$ হয় তবে $\lambda^2=l$, $n^2=\frac{V}{l}=2n^1$। সুতরাং এই স্বরের কম্পনাঙ্ক মূল স্বরের কম্পনাঙ্কের দ্বিগুণ হয়। (মধ্যের ছবি)

(iii) পরবর্তি উর্ধ্বতানে নলের মাঝে তিনটি স্থির-বিন্দু ও দুইটি স্পন্দন-বিন্দু থাকিবে। $\therefore\ \lambda^3=\frac{2l}{3}\ ;\ n^3=\frac{3V}{2l}=3n^1$

৪০নং চিত্র

অর্থাৎ এই স্বরের কম্পনাঙ্ক মূল স্বরের কম্পনাঙ্কের তিনগুণ হয়।

এইরূপে দেখান যায় যে খোলা নলের বেলায় মূল স্বরের ও উর্ধ্বতানের কম্পনাঙ্কের অনুপাত 1 : 2 : 3 : 4 ইত্যাদি হয় অর্থাৎ খোলামুখ অর্গান নলের বেলায় যুগ্ম ও অযুগ্ম সব রকমের উর্ধ্বতানের উদ্ভব ঘটে। সেই কারণেই দুমুখ খোলা বাঁশীর কিংবা অর্গান নলের আওয়াজ মিঠে হয়। একই দৈর্ঘ্যের খোলা নলের স্বর বন্ধ নলের স্বর অপেক্ষা একটি তান বেশী হয়।

৮১। বদ্ধমুখ অর্গান নলের Harmonics সমূহ :—

নম্বর	বায়ুতে-তরঙ্গ দৈর্ঘ্য	সুরের কম্পনাঙ্ক	মূল সুরের সহিত সম্বন্ধ
1	$4l$	$n_1 = \frac{V}{4l}$	মূল সুর
2	$\frac{8}{4}l$	$n_2 = \frac{3V}{4l}$	$n_1 = 3n_1$
3	$\frac{4}{5}l$	$n_3 = \frac{5V}{4l}$	$n_3 = 5n_1$
4	$\frac{4}{7}l$	$n_4 = \frac{7V}{4l}$	$n_4 = 7n_1$
		ইত্যাদি	

৮২। দুমুখ খোলা অর্গান নলের Harmonics সমূহ :—

1	$2l$	$n^1 = \frac{V}{2l}$	মূল সুর
2	l	$n^2 = \frac{V}{l}$	$n^2 = 2n^1$
3	$\frac{2l}{3}$	$n^3 = \frac{3V}{2l}$	$n^3 = 3n^1$
4	$\frac{l}{2}$	$n^4 = \frac{2V}{l}$	$n^4 = 4n^1$
	ইত্যাদি	ইত্যাদি	

৮৩। অর্গান নলের সুরের উপর উষ্ণতার ও আর্দ্রতার প্রভাব :

আমরা জানি $V = n\lambda$। যদি কোনও কারণে Vএর পরিবর্তন ঘটে তাহা হইলে n ও λর পরিবর্তন ঘটিবে। অর্গান নলের বেলায় λটি নলের দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে; উষ্ণতা বৃদ্ধির সহিত দৈর্ঘ্যের যে পরিবর্তন ঘটে তাহা নগণ্য কিন্তু উষ্ণতা

বৃদ্ধিতে তরঙ্গের বেগ V পরিবর্তিত হয়। বেশী উষ্ণতায় তরঙ্গ বেগ বেশী হয় অতএব অর্গান নলের স্বরের কম্পনাঙ্কও বাড়িয়া যায়। আবার আর্দ্রতা বৃদ্ধির সহিত বায়ুর ঘনাঙ্ক কমিয়া যায় এবং ইহার ফলে তরঙ্গ বেগ বর্ধিত হয় এবং কম্পনাঙ্কও বর্ধিত হইয়া থাকে।

৮৪। অর্গান নলে স্পন্দন-বিন্দু ও স্থির-বিন্দুর অবস্থান নির্ণয়ঃ

নীতিঃ স্থির-বিন্দুতে কোন হাল্‌কা দ্রব্য যথা বালি ধরিলে উহা স্থির থাকিবে। স্পন্দন-বিন্দুতে উহা খুব কম্পিত হইবে।

পরীক্ষাঃ একটি দুমুখ খোলা অর্গান নল লম্বভাবে ধর। নলের এক পার্শ্ব কাচ নির্মিত হওয়া দরকার। একটি ছোট পাতলা কাগজের চাক্‌তির (pan) উপর সামান্য কিছু শুকনা বালি রাখ। চাকতির মাঝখানে সূতা বাঁধিয়া চাকতিকে আস্তে আস্তে নলের মধ্যে নামাইয়া দাও এবং সঙ্গে সঙ্গে ফুঁ দিয়া বা অন্য উপায়ে নলটিতে মূল স্বর বাজাও। দেখা যায় যে নলের মুখে স্পন্দন-বিন্দু থাকায় বায়ু বেশী কম্পিত হয়। এই কম্পন পাতলা কাগজের মধ্য দিয়া বালিতে সঞ্চালিত হয়। বালিকণাগুলি খুব লাফাইতে থাকে এবং কাগজের উপর চটাপট্ শব্দ হয়। চাকতিকে অর্গান নলের ভিতরে আরও আস্তে আস্তে নামাও। দেখ বালিকণার স্পন্দন ক্রমশঃ কমিতে কমিতে এক স্থানে স্থির হয়। সেই বিন্দু স্থির-বিন্দু। এইরূপে বালির লাফানর শব্দ শুনিয়া স্পন্দন-বিন্দুর ও স্থির-বিন্দুর অবস্থান স্থির করা যায়।

৮৫। স্বরের তীক্ষ্ণতা ও নলের দৈর্ঘ্যঃ

নলের দৈর্ঘ্য যত বেশী হয় স্বর তত ভারি হয় অর্থাৎ স্বরের কম্পনাঙ্ক তত কম হয়। এইবার নলের গায়ে যদি ছিদ্র করা যায় সেই ছিদ্র মুখে একটি স্পন্দন-বিন্দু উৎপন্ন হয় অর্থাৎ কম দৈর্ঘ্যে কম্পিত হয় এবং স্বর চড়া হয়। সেই কারণে বাঁশী জাতীয় যন্ত্রে ছয়টি ছিদ্র থাকে, ছিদ্রমুখ আঙ্গুল দিয়া বন্ধ করিয়া বা খুলিয়া নলের দৈর্ঘ্য কমান বা বাড়ান চলে অর্থাৎ স্বরের কম্পনাঙ্ক পরিবর্তিত করা যায়। যদি অর্গান নলে একটি সঞ্চরনশীল দণ্ড (piston) থাকে তবে দণ্ডকে নলের ভিতরের দিকে আস্তে আস্তে ঠেলিলে নলের ভিতরে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য ক্রমশঃ ছোট হয় ও স্বরের কম্পনাঙ্ক বাড়িয়া যায় ফলে নলের স্বর চড়া হয়।

আর দণ্ডকে বাহিরে টানিলে নলের ভিতরে বায়ুস্তম্ভের বেশী অংশ কম্পিত হয়। ফলে সুরের কম্পনাঙ্ক হ্রাস পায়, খাদের সুর বাজে।

৮৬। অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের সাহায্যে শব্দ তরঙ্গ বেগ নির্ণয়ঃ

পরীক্ষাঃ একটি ৫ সেঃ মিঃ ব্যাসের প্রায় ৩০ সেঃ মিঃ লম্বা ফাঁপা দুই মুখ খোলা কাঁচের নল A লও। একটি প্রায় ১ মিটার লম্বা ২০ সেঃ মিঃ ব্যাসের কাঁচের পাত্র E প্রায় জলে ভর্তি কর। A নলকে সোজাভাবে পাত্রের জলের ভিতর সম্পূর্ণ ডুবাও। তারপর A নলকে সোজাভাবে আস্তে আস্তে জল হইতে তোল এবং B নলের মুখে প্রায় ১০০০ কম্পনাঙ্কের একটি Tuning fork F কম্পমান অবস্থায় ধর। এখন দেখা যায় যে A নলটি যখন জলের তলা হইতে প্রায় ৮ সেঃ মিঃ উপরে আসে তখন fork এর আওয়াজ খুব জোর হয় অর্থাৎ fork এর কম্পনাঙ্ক ও নলের ভিতরের বায়ুস্তরের কম্পনাঙ্ক এক হয় অর্থাৎ ঐ সময়ে নলের মধ্যে বায়ুস্তম্ভ অনুনাদিত হয় পরে নলটি যখন প্রায় ২৪ সেঃ মিঃ জলের উপর আসে তখন আবার দ্বিতীয় বারের জন্য শব্দ জোর হয় এবং বায়ুস্তম্ভ অনুনাদন অবস্থায় আসে। এখানে A নলকে জলে ডুবাইয়া A নলের ভিতরের বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য বাড়ান বা কমান যায়।

৪১নং চিত্র

অতএব A নলকে একটি বদ্ধ অর্গান নল ধরা যাইতে পারে। A নলের ভিতরের D জলতল A নলের বদ্ধমুখ।

ব্যাখ্যাঃ মনে কর Tuning forkটি A নলের মুখের কাছে কম্পিত হইতেছে (II নং চিত্র)। মনে কর ইহার কম্পনের পর্যায়কাল T। Tuning fork এর এক বাহু যখন A নলের সম্মুখে B হইতে Cর দিকে আসে তখন ইহা A নলের মুখের সম্মুখস্থ বায়ু সংকুচিত করে। ইহার ফলে বায়ু মাধ্যমে একটি সংকোচন তরঙ্গ নলের ভিতর দিকে নামিয়া যায়। মনে কর বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য A D এমন ভাবে স্থির করা হয় যে যখন বাহু B হইতে Cতে আসে ঠিক

সেই মুহূর্তে আপতিত সংকোচন তরঙ্গ A হইতে D প্রান্তে পৌঁছায়। D প্রান্তে জল থাকে। উহা বায়ু অপেক্ষা ঘনতর মধ্যম। সুতরাং সংকোচন তরঙ্গ D প্রান্ত হইতে সংকোচন তরঙ্গ রূপেই প্রতিফলিত হইয়া উপর দিকে উঠিয়া আসে। আবার বাহু যখন C হইতে A তে আসে ঠিক সেই মুহূর্তে প্রতিফলিত সংকোচন তরঙ্গ A তে পৌঁছায়। A মুখ খোলা কাজেই সংকোচন তরঙ্গ A মুখেই পৌঁছিয়াই চাপ মুক্ত হয় এবং মুক্ত প্রান্ত হইতে তনুভবন তরঙ্গ রূপে প্রতিফলিত হয়। এই প্রতিফলিত তনুভবন তরঙ্গ নলের নীচের দিকে যাইতে থাকে। ঠিক সেই মুহূর্তে বাহু সর্বনিম্ন অবস্থান A তে পৌঁছিয়াই উপর দিকে (B এর দিকে) যাত্রা সুরু করে সুতরাং A বাহুর নীচের দিকে বায়ুব চাপ হ্রাস হয় এবং একটি তনুভবন তরঙ্গ নলের নীচের দিকে যাইতে থাকে। এই নূতন আপতিত তনুভবন তরঙ্গ ও প্রতিফলিত তনুভবন তরঙ্গ একত্রে মিশিয়া **অনুনাদন শব্দ** (resonance) উৎপন্ন করে। সুতরাং বাহু যে সময়ে B হইতে Aতে আসে সংকোচন তরঙ্গ ২×AD পথ অতিক্রম করে। AD = নলে বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য। আবার যে সময়ে বাহু A হইতে B তে উঠিয়া আসে ঠিক সেই সময়েই বর্ধিত তনুভবন তরঙ্গ A হইতে D প্রান্তে যায় এবং DE প্রান্ত হইতে প্রতিফলিত হইয়া তনুভবন তরঙ্গরূপে A প্রান্তে পৌঁছায়। A মুক্ত প্রান্তে পৌঁছিয়াই এই তনুভবন তরঙ্গ সংকোচনরূপে প্রতিফলিত হয়। ঠিক সেই সময়েই বাহু B হইতে নীচের দিকে নামিতে থাকে এবং নূতন সংকোচন তরঙ্গ উৎপন্ন করে। নূতন সংকোচন তরঙ্গ ও প্রতিফলিত সংকোচন তরঙ্গ একত্র মিশিয়া **অনুনাদন শব্দ** লৎপন্ন করে। অর্থাৎ নূতন তরঙ্গ ও প্রতিফলিত তরঙ্গের সমাবেশে অনুনাদন শব্দ উৎপন্ন হয়।

গণনা : উপরোক্ত যুক্তি হইতে দেখা যায় যে বাহুর এক পর্যায়কাল T = বাহুর B হইতে A তে আসিবার সময় + A হইতে Bতে ফিরিবার সময় = একটি সংকোচন তরঙ্গের A হইতে D তে আসিবার সময় + A তে ফিরিবার সময় + একটি তনুভবন তরঙ্গের A হইতে D তে আসিবার সময় + A তে ফিরিবার সময় = একটি সম্পূর্ণ তরঙ্গের পর্যায়কাল। যদি AD = বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য = l হয় তবে T সময়ে তরঙ্গ $4l$ দৈর্ঘ্যপথ যায়।

আমরা জানি একটি সংকোচন তরঙ্গ+একটি তনুভবন তরঙ্গ—একটি শব্দ তরঙ্গ $\therefore$ নলে একটি শব্দ তরঙ্গের দৈর্ঘ্য $=\lambda=4l$.

যদি শব্দের বেগ $=V$ ও বায়ুর কম্পনাঙ্ক $=n$ হয় তবে $V=n\lambda=n\times 4l$.

n ও V এর মধ্যে একটি জানা থাকিলে অপটি গণনা করা যায়। যদি বায়ুর উষ্ণতা $=t$ হয় তবে

$$V_t=V_0\sqrt{\left(1+\frac{t}{273}\right)}=V_0\sqrt{\frac{T}{273}}.$$

৮৭। প্রান্তিক সংশোধন (End correction) :—এইরূপ অনুনাদন অবস্থায় জলতলে স্থির-বিন্দু ও নলের মুখে স্পন্দন-বিন্দুর উদ্ভব হয় না, একটু উপরে হয়। লর্ড র‍্যালে (Lord Raleigh) দেখাইয়াছেন যে নলের মুখের $0.6r$ উপরে স্পন্দন-বিন্দু অবস্থিত হয় ($r=$নলের ব্যাসার্ধ) $\therefore$ l বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য $=l+0.6r.V=4n\ (l+0.6r)$। $0.6r$ কে প্রান্তিক সংশোধন বলে।

৮৮। প্রান্তিক সংশোধন পরিহার পদ্ধতি : নলটিকে আগের দৈর্ঘ্যের তিনগুণ উর্ধে তোল। এখন আবার বায়ুস্তম্ভ অনুনাদক অবস্থা প্রাপ্ত হইবে। l_2 যদি এই বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য হয় তবে $l_2=3\lambda/4$ হইবে।

$$\therefore\quad \lambda/4=l_1+0.6r \quad \text{এবং} \quad 3\lambda/4=l_2+0.6r$$

$$\frac{3\lambda}{4}-\frac{\lambda}{4}=\frac{\lambda}{2}=l_2-l_1 \quad \therefore \quad V=n\lambda=2n(l_2-l_1)$$

এই সমীকরণের সাহায্যে V তরঙ্গ বেগ—পাওয়া যাইতে পারে, তবে যে সংখ্যা পাওয়া যাইবে তাহা $t°$C উষ্ণতায় ও আর্দ্র বায়ুতে তরঙ্গ বেগের সমান। $t°$C পরীক্ষাগারের উষ্ণতা।

অঙ্ক : 1. Two open pipes are sounded together, each note consisting of the fundamental together with two upper harmonics. One fundamental note has 256 vibrations per second, the other 170. Would there be any beat produced ? If so how many per second ?

(C. U. 1931)

প্রথম নলের মূল স্বরের, প্রথম ও দ্বিতীয় Harmonics এর কম্পনাঙ্ক যথাক্রমে ২৫৬, (২৫৬×২=) ৫১২, (২৫৬×৩=) ৭৬৮

দ্বিতীয় নলের এইরূপ কম্পনাঙ্ক যথাক্রমে ১৭০, ৩৪৩, ৫১০। এই সকল স্বরের মধ্যে দুইটি স্বরের কম্পনাঙ্ক প্রায় সমান যথা ৫১০, ৫১২। সুতরাং এই দুই স্বরের স্বরকম্প হইবে। স্বরকম্পের সংখ্যা ৫১২ − ৫১০ = ২ প্রতি সেকেণ্ডে।

2. If the length of an open organ pipe sounding its fundamental note is one metre, what shall be length of such a pipe in order that it may sound the fifth of the previous note ? (Pat. 1926)

মনে কর মূল স্বরের উৎপন্নকারী নলের দৈর্ঘ্য $= l_১$, এবং মূল স্বরের এক পঞ্চমাংশ স্বর উৎপন্নকারী নলের দৈর্ঘ্য $= l_২$

∴ মূল স্বরের বেলায় $V = ২nl_১$ (n = মূল স্বরের কম্পনাঙ্ক)

এক পঞ্চমাংশ স্বরের বেলায় $n_১ = \frac{৩n}{২}$ ∴ $V = ২ \times \frac{৩n}{২} \times l_২ = ৩nl_২$

∴ $৩nl_২ = ২nl_১$ কারণ V ধ্রুবক

∴ $l_২ = \frac{২}{৩}$ মিটার = ৬৬·৬ সেঃ মিটার।

3. You are provided with a vessel containing water, a glass tube about 40 cms long, open at both ends and a tuning fork whose frequency is 256. What experimental result do you expect ? (V of sound is 33280 cms per second nearly). (C. U. 1914)

মনে কর মূল স্বর উৎপন্নকারী নলের দৈর্ঘ্য $= l$

∴ তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য $\lambda = ৪l$. $V = n\lambda$ ∴ $৩৩২৮০ = ২৫৬ \times ৪l$

∴ $l = ৩২·৫$ সেঃ মিটার

∴ নলের (৪০ − ৩২·৫ =) ৭·৫ সেঃ মিটার জলে ডুবাইতে হইবে।

প্রশ্ন

1. Describe in detail with a diagram an open organ pipe, and explain its mode of excitation. What effect is produced on the pitch and character of the note, if the open end is suddenly closed ?
(C. U. 1926, '31, '35, '39, '40, '45. '47 ; Pat. '28)

2. (a) Give an account of nodes and antinodes in open and closed organ pipes. (All. 1918, '22 ; C. U. 1931, '32, '35, '45, '47,).

(b) How are stationary waves produced in (i) an open organ pipe. (ii) a closed organ pipe ? (C. U. '47 ; cf All 45)

3. The velocity of sound in hydrogen is 1296·5 meters per second. What will be the length of a closed organ pipe, filled with hydrogen, which gives a note having a vibration frequency of 512 per second? (C. U. 1915 ; Dac. '33)

[Ans : 63·3 cm (approx.)]

4. What are the fundamental and harmonic notes of the organ pipes, open and closed? (C. U. 1947)

5. Two organ pipes, open at both ends, are sounded together and four beats per second are heard. The length of the short pipe is 30 in. Find the length of the other. (Vel. of sound = 1120 ft. per sec.) (C. U. 1935)

[Ans. $30\frac{6}{11}$ in]

6. How can the existence of nodes and antinodes in a sounding organ pipe be demonstrated? (C. U. 1937)

7. A vibrating tuning-fork is placed at the mouth of an open jar, and water is poured into the jar gradually. Explain how would you determine the velocity of sound in air by an experiment of this kind. (C. U. 1915, '18, '26, '29, '31, '47 ; Pat. 1918, '21, '23, '25, '28, '36, '41 ; Dac. '33, '34)

দণ্ডের কম্পন (Vibration of Rods)

৮৯। দণ্ডের অনুদৈর্ঘিক কম্পন (Longitudinal vibration of Rods) :

যদি একটি গ্লাসের কিংবা পিতলের সরল দণ্ডকে মধ্য-বিন্দুতে জোরে বন্ধনী দিয়া আট্‌কাইয়া ভিজা কাপড় কিংবা রজন মাখান কাপড় দিয়া লম্বালম্বি ভাবে একদিকে ঘষা যায় তাহা হইলে একটা তীব্র শব্দের উৎপত্তি ঘটে। কেন? দণ্ডটি ঘর্ষণের ফলে অনুদৈর্ঘিক ভাবে পর্যায়ক্রমে বিস্তৃত ও সংকুচিত হয় (is elongated and compressed) অর্থাৎ কম্পিত হয়। ইহাতে দণ্ডটিতে অনুদৈর্ঘিক তরঙ্গের উদ্ভব হয়। সেই কারণে উপরোক্ত তীব্র শব্দের উৎপত্তি হয়।

দণ্ডটির দুইটি প্রান্ত A মুক্ত থাকার দরুণ ঐস্থানে গরিষ্ঠ কম্পন সম্ভব, সেই জন্য ঐ স্থানে স্পন্দন-বিন্দুর উদ্ভব হয় এবং দণ্ডটির মাঝখান আটকান থাকে,

তথায় **স্থির-বিন্দুর** উদ্ভব হয়। দণ্ডের দুই প্রান্তে স্পন্দনা বিন্দু থাকে অতএব দণ্ডের দৈর্ঘ্য $l = \lambda/2$, λ — মূল সুরের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য।

যদি ঐ দণ্ডের মধ্যে শব্দের তরঙ্গবেগ V হয় তবে

$$V = \sqrt{\frac{Y}{D}}$$ Y — ইয়াংস স্থাপিতাঙ্ক (দণ্ডের উপাদানের)

D — ঘনাঙ্ক (" ")

আবার $V = n\lambda$, $\lambda = 2l$, l = দণ্ডের দৈর্ঘ্য

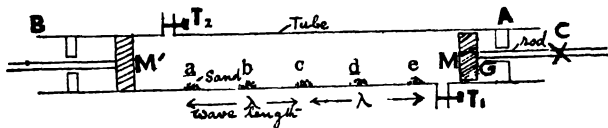
$$V = 2ln \quad \text{অর্থাৎ} \quad n = \frac{V}{2l} = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{Y}{D}}$$

এই সমীকরণের সাহায্যে, যে তীব্র সুর দণ্ডটির কম্পনের সময় উদ্ভূত হয়, উহার কম্পনাঙ্ক n নিরূপিত হয়।

আবার সনমিটারের সাহায্যে যদি n বাহির করা হয় তাহা হইলে উপরোক্ত সমীকরণের সাহায্যে Vm বাহির করা চলে এবং এই নিয়মে কঠিনের মধ্যে শব্দবেগ নিরূপিত হয়।

৯০। কুণ্ডের পরীক্ষা (Kundt's Experiment) :

দণ্ডের অনুদৈর্ঘ্যিক কম্পনের সাহায্যে বৈজ্ঞানিক কুণ্ড ভিন্ন ভিন্ন গ্যাসের মধ্যে তরঙ্গ বেগ নির্ধারণ করেন। এখনও পদার্থ বিদ্যার পরীক্ষাগারে কুণ্ডের যন্ত্রের সাহায্যে গ্যাসের মধ্যে তরঙ্গ বেগ নির্ধারিত হয়।

যন্ত্র : একটি প্রায় ১ মিটার লম্বা ৬ সেঃ মিঃ ব্যাসের কাঁচের ফাঁপা নল A B এর দুই পাশ দুইটি stop cock T_1 T_2 লাগান আছে। একটি stop

৪২নং চিত্র

cock এর ভিতর দিয়া বাতাস বা গ্যাস নলের ভিতর যায় ও অপর stop cock দিয়া বাহির হয়। নলটি টেবিলের উপর অনুভূমিক অবস্থায় আবদ্ধ (fixed) রাখা হয় যাহাতে পরীক্ষার সময় নলটি না নড়ে। নলের দুইমাথা দুইটি

পিতলের চাকতি দিয়া বন্ধ করা থাকে। G চাকতির মধ্য দিয়া M দণ্ডটি প্রবেশ করান হয়। ঐ দণ্ডটি ঠিক মধ্য-বিন্দু C তে বন্ধনী দিয়া জোরে আটকান থাকে। ঐ দণ্ডের মাথা Mতে একখানা কার্ডের ছোট গোল হালকা চাকতি আটকান আছে। নলের অপর মাথায় চাকতির মধ্য দিয়া আর একটি ছোট সঞ্চরণশীল (movable) দণ্ড M′ চালান হয় এবং ঐ দণ্ডের মাথায় একটি চাকতি লাগান আছে। G চাকতির ব্যাস নলের ব্যাসের চেয়ে একটু ছোট হয় যাহাতে M C দণ্ডটিকে নলের গা স্পর্শ না করাইয়া সামনে পিছনে সরান চলে।

পরীক্ষা ঃ প্রথমে হাপরের সাহায্যে নলের ভিতর গরম বাতাস প্রবাহিত করিয়া নলকে সম্পূর্ণরূপে শুষ্ক কর। নলকে অনুভূমিক ভাবে টেবিলের উপর আটকাইয়া রাখ। নলের ভিতর নীচের গায়ে হালকা শুষ্ক গুড়া (যেমন কর্কের গুড়া কিংবা Lycopodium গুড়া) খুব পাতলা করিয়া সমানভাবে ছড়াইয়া দাও। এখন MC দণ্ডকে রজন মাখান কাপড় বা চামড়া দিয়া অনুদৈর্ঘিকভাবে ঘর্ষণ কর। দণ্ডটি অনুদৈর্ঘিকভাবে কম্পিত হইবে এবং শব্দ উত্থিত হইবে। এই শব্দ-তরঙ্গের কম্পনাঙ্কের সহিত G চাকতি অগ্র-পশ্চাৎ কম্পিত হইবে। আবার Gএর কম্পনের দ্বারা নলের ভিতরের বাতাসও উদ্দীপন কম্পনে (forced vibration) কম্পিত হইবে। ইহাতেও শব্দ উত্থিত হইবে। Gএর দ্বারা উৎপন্ন বায়ুতরঙ্গ M′তে যাইয়া প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া আসে। সুতরাং নলের ভিতরের বায়ুতে আপতিত ও প্রতিফলিত তরঙ্গের একত্র মিলনে স্থির তরঙ্গের উদ্ভব হয়। এখানে MC দণ্ড এবং G চাকতির মধ্য দিয়া নলের ভিতরকার বায়ুও কম্পিত হইতেছে। দণ্ডের কম্পনাঙ্ক স্থির রাখিয়া M′ চাকতিকে এদিক-ওদিক সরাইয়া এমন জায়গায় আনা হয় যে দণ্ডের মূল সুর নলের ভিতরকার বায়ুস্তম্ভের সুরের যে কোন Harmonic এর সহিত মিলিত হইয়া বায়ুস্তম্ভের অনুনাদন অবস্থা সৃষ্টি করে। ইহাতে শব্দ জোর শোনা যায়। এই স্থির তরঙ্গের অবস্থায় বায়ুস্তরের মধ্যে স্থির-বিন্দু ও স্পন্দন-বিন্দুর উদ্ভব ঘটে। আমরা জানি স্থির-বিন্দুতে বায়ুকণা প্রায় স্থির থাকে এবং স্পন্দন-বিন্দুতে কণাগুলি বেশী কম্পিত হয়। সুতরাং সমানভাবে বিস্তৃত হালকা গুড়াগুলি

স্পন্দন-বিন্দুতে খুব আন্দোলিত হইতে হইতে আসিয়া সমান দূরত্বে স্থির-বিন্দুতে স্তূপাকারে (চিত্রে a,b,c,d,e) জমা হয়। স্পন্দন-বিন্দুতে প্রায় কোন গুড়া থাকে না। এইরূপে অনেকগুলি স্তূপ (heap) ও অনেকগুলি ফাঁক (loop) নলের ভিতর গঠিত হয়। প্রত্যেক দুই স্তূপের মধ্যের দূরত্ব বা একটি ফাঁকের দূরত্ব বাহির কর। মনে কর গড় দূরত্ব $= l_a$, বায়ুতে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য $= \lambda_a$ বায়ুতে তরঙ্গবেগ $= V_a$, বায়ুতে তরঙ্গের কম্পনাঙ্ক $= n$ $\therefore$ $V_a = n\lambda_a = n \times 2l_a$. এখন MO দণ্ডটীর মাঝখান স্থির-বিন্দু কারণ মধ্য বিন্দুতে দণ্ডটি আটকান আছে এবং দণ্ডটির দুই প্রান্তে স্পন্দন-বিন্দু। মনে কর দণ্ডের দৈর্ঘ্য $= l$, দণ্ডে তরঙ্গদৈর্ঘ্য $= \lambda$, দণ্ডের সুরের কম্পনাঙ্ক $=$ বায়ুর সুরের কম্পনাঙ্ক $= n$ (কারণ দণ্ডের সুর ও বায়ুর সুর অনুনাদিত হয়), দণ্ডে তরঙ্গের বেগ $= V$. $\therefore V = n\lambda = n \times 2l$.

$$\therefore \frac{V_a}{V} = \frac{n \times 2l_a}{n \times 2l} = \frac{l_a}{l} = \frac{\text{একটি ফাঁকের দূরত্ব}}{\text{দণ্ডের দৈর্ঘ্য}}$$

V_a ও V এর মধ্যে একটি জানা থাকিলে অপরটি বাহির করা যায়। যদি n জানা থাকে তবে V_a ও V দুইই বাহির করা যায়।

৯১। **গ্যাসে তরঙ্গবেগ ঃ** মনে কর প্রথমে এক রকম গ্যাস লইয়া কুণ্ডের যন্ত্র দ্বারা পরীক্ষা করা হইল। ধরা যাক la স্থির-বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব। এবার T_1, T_2 stop cockএর সাহায্যে কুণ্ডের নলের মধ্যে অন্য ভিন্ন গ্যাস প্রবেশ করান হইল এবং M′ চাকতি সরাইয়া আবার অনুনাদন সৃষ্টি করা হইল। এইবার স্থির-বিন্দুর দূরত্ব যদি la' হয় তবে

$$\frac{Va}{Va'} = \frac{la}{la'}$$

Va – প্রথম গ্যাসে তরঙ্গ বেগ
Va' – দ্বিতীয় „ „ „

আবার $Va = \sqrt{\dfrac{\gamma P}{Da}}$, $Va' = \sqrt{\dfrac{\gamma P}{Da'}}$; P – গ্যাসের চাপ দুই ক্ষেত্রে সমান ;

Da – প্রথম গ্যাসের ঘনাঙ্ক
Da' – দ্বিতীয় „ „

γ — প্রথম গ্যাসের দুইটি আপেক্ষিক তাপের অনুপাত (ratio of two
γ' — দ্বিতীয় " " " " " specific heats)

$$\frac{la}{la'} = \frac{Va}{Va'} = \sqrt{\frac{\gamma}{Da} \cdot \frac{Da'}{\gamma'}}.$$

এই সমীকরণের সাহায্যে $\frac{l}{la'}$ এর অনুপাত হইতে $\frac{\gamma}{\gamma'}$ এর অনুপাত নির্ণয় সম্ভব।

প্রশ্ন।

1. How would you determine experimentally the velocity of sound in solid in air ? (A. U. 1924, '32).

2. You are given a glass rod of 70 cm in length. How will you find the velocity of sound in it ? (P. U. 1928).

সঙ্গীত যন্ত্র (Musical Instruments)

৯২। **সঙ্গীত যন্ত্রের শ্রেণী :**—তিন শ্রেণীর সঙ্গীত যন্ত্র আমরা সাধারণতঃ দেখিতে পাই। (i) **বায়ুচালিত** (wind) **যন্ত্র**, (ii) **তারের** (stringed) **যন্ত্র** (iii) **সংঘাত** (percussion) **যন্ত্র**।

(1) বায়ুচালিত যন্ত্রের কার্যকারিতা বায়ুস্তম্ভের কম্পনের উপর নির্ভর করে। ইহা আবার দুই রকমের ; যথা : (ক) লম্বা নল (flue pipe) বিশিষ্ট বদ্ধ নল, কিম্বা খোলা নলের সঙ্গীত যন্ত্র। এই খোলা ও বদ্ধ নল যন্ত্রের বিষয় আগে আলোচনা করা হইয়াছে। এই নলের কম্পনাঙ্ক নলের দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে। যথা flute, piccolo, বাঁশী।

৯৩। **পত্রী (reed) যন্ত্র :**—যথা Clarionet কিম্বা Harmonium। Clarionetএর মুখে একটি বাঁশের কিম্বা বেতের পত্রীর এক দিক বাঁধা থাকে আর অন্য সব দিকই খোলা থাকে। পত্রীটির এক দিক মোটা ও অপর দিক খুবই পাতলা এবং আকারে আয়তক্ষেত্রিক। মোটা দিকটি প্রায় আট্‌কান থাকে। এইরূপ যন্ত্র হইতে যে স্বর বাহির হয় তার কম্পনাঙ্ক পত্রীর কম্পনাঙ্কের দ্বারাই নির্ধারিত হয়। সামনের যে নল থাকে তাহার দ্বারা স্বরটি পরিবর্তিত হয় এবং

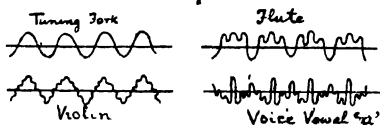
কোনও কোনও Harmonic-কে আপেক্ষিকভাবে বর্ধিত করিয়া শব্দের গুণ পরিবর্তিত করা হয়। আর ঐ পত্রীটির যদি নিচের দিকে বন্ধন করা যায় তো পত্রীর ছোট অংশ কম্পিত হইবে যাহার ফলে পত্রীর কম্পনাঙ্ক বৃদ্ধি পাইবে। এইরূপে Clarionet জাতীয় যন্ত্রের পত্রীর সঠিক স্থানে বন্ধন দিয়া সুর বাঁধা হইয়া থাকে। Organ কিম্বা Harmonium জাতীয় যন্ত্রে যে পত্রী ব্যবহৃত হয় তাহাকে **মুক্ত পত্রী** (Free reed) বলা হয়। এই মুক্ত পত্রী আয়তক্ষেত্রক পাতলা পিতলের চাদর হইতে তৈয়ারী হয়। এই পত্রীটির আকারের উপর উহার কম্পনাঙ্ক নির্ভর করে। ঐ পত্রীটি একটি সমান মাপের আয়তক্ষেত্রিক গর্তের মুখে লাগান থাকে। পত্রীর একটি দিক আট্‌কান থাকে আর অন্য সকল দিকই খোলা থাকে। ঐ পত্রীর ভিতর দিয়া জোরে বায়ু সঞ্চালিত করা হয় যাহার ফলে পত্রী কম্পিত হয় এবং সুরের সৃষ্টি ঘটে। পত্রীর স্থাপিতাঙ্ক, দৈর্ঘ্য, প্রস্থ প্রভৃতির উপর কম্পনাঙ্ক নির্ভর করে।

৪৩নং চিত্র

৯৪। **তারের যন্ত্র** ঃ—সেতার, এস্রাজ, বেহালা প্রভৃতি তারের যন্ত্র। ইহাদের সুর সনোমিটারের মত তারের টান ও দৈর্ঘ্যের ও রৈখিক ঘনাঙ্কের উপর নির্ভর করে। অবশ্য শব্দের গুণ (quality) তারের কোন্ স্থানে আঘাত করা হয়, কিম্বা কোথায় ছড় টানা হয় তাহার উপর নির্ভরশীল। আবার Piano জাতীয় যন্ত্রে ছোট কাঠের হাতুড়ি দিয়া তারকে আঘাত করা হয়। বেহালা প্রভৃতি যন্ত্রে 'কান' মুচড়াইয়া টান পরিবর্তন করা হয় এবং এইরূপে সুর 'বাঁধা' হইয়া থাকে।

৯৫। **সংঘাত যন্ত্র** ঃ—জয় ঢাক, ঢোল, তবলা, মৃদঙ্গ, কাঁশি, ঘণ্টা প্রভৃতি যন্ত্রে আঘাতের দ্বারা সুরের উদ্ভব ঘটে। আঘাতের ফলে ঢাক ইত্যাদির সমস্ত পর্দাটি কাঁপিতে থাকে ; তাহার ফলে পর্দার মাঝে স্পন্দন বিন্দু ও পর্দার ধারে (edge) যেখানে পর্দা খোলের সঙ্গে বাঁধ আছে সেখানে স্থির বিন্দু উদ্ভুত হয়। এইরূপ শব্দের বিশ্লেষণ করিলে দেখা যায় যে শব্দটি খুবই জটিল।

কাঁশী কিংবা ঘণ্টার বেলায়ও আঘাতের ফলে শব্দ উদ্ভূত হয়। ঘণ্টার বেলায় উহার বেড় কম্পিত হয় এবং মূল সুরের বেলায় চারটি স্থির ও স্পন্দন-বিন্দুর উদ্ভব হয়। ইহাদের সুরের কম্পনাঙ্কগুলির মধ্যে সম্বন্ধ বেশ জটিল।

৯৬। **Tuning fork :**—Konig Tuning fork আবিষ্কার করেন। ইহার বিবরণ পূর্বে দেওয়া হয়েছে। Tuning fork-কে মৃদুভাবে আঘাত করিলে কিম্বা বেহালার ছড়ের দ্বারা কম্পিত করিলে যে স্বর পাওয়া যায় তা মূল স্বর। সেইজন্য ইহা শুদ্ধ স্বর (Tone)। যদি fork-কে অনুনাদক বাক্সের উপর রাখা হয় তাহলে যে স্বর বাহির হয় তাহা একেবারে শুদ্ধ স্বর। বাক্সের মূল স্বরই fork-এর দ্বারা অনুনাদিত হয় যাহার ফলে শুদ্ধ স্বর উৎপন্ন হইয়া থাকে। সামান্য উষ্ণতার পরিবর্তনে fork-এর কম্পনাঙ্কের পরিবর্তন হয় না।

৪৪নং চিত্র

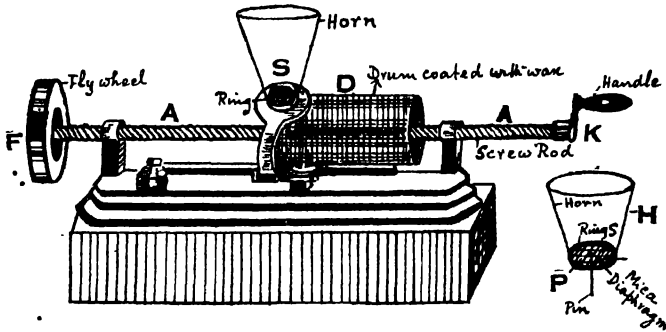
বাহুদ্বয়কে U এর মত ভাঁজ দেওয়ার ফলে বাহুদ্বয়ের গোড়ায় স্থির-বিন্দু এবং কম্পিত হইলে প্রান্তে A, A স্পন্দন-বিন্দু হইয়া থাকে। নিচের যে হাতলটি থাকে সেটা উপর-নিচু কাঁপিতে থাকে অর্থাৎ উহার কম্পন অনুদৈর্ঘিক হয়। এই কারণে কম্পমান Tuning fork টেবিলের উপর রাখিলে table-এর উপরিভাগটি উদ্দীপিত কম্পনের অবস্থা পায়। যাহার ফলে টেবিলের উপরিভাগের সমস্ত বায়ুস্তর কম্পিত হয় এবং শব্দ জোর হয়।

৯৭। **ফনোগ্রাফ (Phonograph) ও গ্রামোফোন (Gramophone) :**

নীতি ঃ—একটি পর্দার (diaphragm) উপর শব্দ তরঙ্গ আপতিত হইলে পর্দাটি তরঙ্গের দ্বারা কম্পিত হইতে থাকে। পর্দার কম্পনের বিস্তার, কম্পনাঙ্ক ও পর্যায়কাল শব্দ তরঙ্গের অনুরূপই হইয়া থাকে। আবার যদি এইরূপ পর্দাকে কোন বিশেষ প্রক্রিয়ায় এমনভাবে কম্পিত করা যায় যে উহার কম্পনাঙ্ক ইত্যাদি পূর্বের মত হয় তবে পর্দার সামনের বায়ুও অনুরূপভাবে কম্পিত হইবে এবং পূর্বের মত শব্দ শোনা যাইবে। এই নীতির উপর ফনোগ্রাফ ও গ্রামোফোনের কার্যকারিতা নির্ভর করে। এই যন্ত্র দিয়া শব্দ-তরঙ্গ গ্রহণ (record) ও শব্দ-তরঙ্গ পুনরুৎপাদন (reproduce) করা যায়।

৯৮। ফনোগ্রাফ ঃ—ইয়ং নামক একজন ইংরাজ বৈজ্ঞানিক একটি মোমাবৃত ঘূর্ণায়মান বেলনের উপর শব্দ তরঙ্গের ছাপ গ্রহণ করেন। ১৮৭৭ খৃষ্টাব্দে সুবিখ্যাত মার্কিণ বৈজ্ঞানিক এডিসন ফনোগ্রাফ আবিষ্কার করেন।

(ক) যন্ত্র ঃ—S একটি ধাতব আংটি (ring)। আংটির উপর একটি শঙ্কু আকৃতির পাতলা চাদরের চোঙ H (horn or funnel) বসান থাকে এবং আংটির নীচের

৫নং চিত্র

মুখে সমভাবে বিস্তৃত একটি পাতলা কাঁচের বা অভ্রের গোলাকার পর্দা (diaphragm) P উপযুক্ত ফ্রেমে বসান থাকে। আংটিকে **শব্দ-প্রকোষ্ঠ** (sound box) বলে। পর্দার নীচের দিকে ঠিক কেন্দ্রস্থলে একটি ধাতব পিন (pin) বা সূচাল পোখরাজের স্ফটিক (sapphire crystal) শক্তভাবে আঁটা থাকে। পিনের শেষপ্রান্ত গোলাকৃতি D বেলনের (cylinder) গা স্পর্শ করে। K হাতল ঘুরাইয়া কিংবা ঘড়ির কলের সাহায্যে (clock work) D বেলনটির যুগপৎ দুইটি গতি উৎপন্ন হয় যথা ঃ একটি বৃত্তাকার, একটি রৈখিক। বেলনটি ইহার অক্ষের চারিধারে বৃত্তাকারে ঘুরিতে থাকে এবং সঙ্গে সঙ্গে A দণ্ডের দৈর্ঘ্য বরাবর চলিতে থাকে। A দণ্ডের স্ক্রুর প্যাঁচ কাটা থাকে। A দণ্ডের সহিত একটি ভারী চাকা F (fly wheel) জোড়া থাকে। ইহাতে বেলনটি সমগতিসম্পন্ন হয়। D. বেলনের গায়ে সমানভাবে বিস্তৃত মোমের আবরণ থাকে।

(খ) শব্দের কম্পন গ্রহণ ঃ—যে স্বনকের শব্দ গ্রহণ করা হইবে তাহাকে H চোঙের সামনে রাখা হয়। (যেমন কোন গায়কের গান)। শব্দিত স্বনক দ্বারা

উৎপন্ন বায়ু তরঙ্গ চোঙের গাত্র দ্বারা প্রতিফলিত ও কেন্দ্রীভূত হইয়া P পর্দায় আঘাত করে। আঘাতের ফলে পর্দা উদ্দীপনভাবে (forced vibration) কম্পিত হইতে থাকে। পর্দার কম্পনের সঙ্গে সঙ্গে নীচের পিন বেলনের গায়ে উপর-নীচে (up and down) কম্পিত হইতে থাকে। বেলন সমগতিতে ঘোরে বলিয়া কাঁটার উর্ধ্বাধগতির জন্য কাঁটার শেষপ্রান্ত দ্বারা বেলনের মোমের উপর বিভিন্ন গভীরতায় নিরবচ্ছিন্ন (continuous) উঁচু-নিচু খাঁজ (grcove) উৎপন্ন হয়। অর্থাৎ শব্দ তরঙ্গের বিস্তার ও কম্পনাঙ্ক অনুযায়ী বেলনের গায়ে খাঁজগুলির গভীরতার পার্থক্য হয়। খাঁজকাটা মোমের চাকতিকে শব্দের **অনুলিপি** (record) বলে। অনুলিপি হইল যেন শব্দ-তরঙ্গের প্রতিবিম্ব। এই ক্ষেত্রে কম্পনের ক্রম (crder) এইরূপ হয়—স্বনক→বায়ু→পর্দা→পিন→বেলনের গায়ে খাঁজ। শব্দের তীব্রতা যত বেশী হইবে তত খাঁজের গভীরতা বাড়িবে, শব্দের তীক্ষ্ণতা যত বাড়িবে দুই খাঁজের মধ্যের ব্যবধান তত কমিবে।

(গ) **শব্দ তরঙ্গ পুনরুৎপাদন** :—শব্দ তরঙ্গ পুনরুৎপাদনের জন্য সূচল পিনযুক্ত পর্দা তুলিয়া লইয়া সেইস্থানে পোখরাজের গোলমুখ (round and smooth) পিনযুক্ত পর্দা P′ বসান হয় এবং শব্দের অনুলিপিতে প্রথমে যেখানে খাঁজ আরম্ভ হয় ঠিক সেই বিন্দুতে পিনের আগা বসাইয়া বেলনকে পূর্বেকার সমগতিতে ঘোড়ান হয়। পিনটি খাঁজের বিভিন্ন গভীরতা অনুযায়ী উঠা-নামা করে। ইহাতে পিনের সঙ্গে আবদ্ধ পর্দা P′ পূর্বেকার P-এর মত কম্পিত হইবে। P′ পর্দার কম্পনে বায়ুও সমভাবেই কম্পিত হইবে। সুতরাং পূর্বেকার শব্দ শোনা যাইবে। এই ক্ষেত্রে কম্পনের ক্রম এইরূপ : খাঁজ→পিন→পর্দা→বায়ু→কাণের পর্দা।

(ঘ) **ফনোগ্রাফের দোষ** :—(ক) অনুলিপির উপাদান খুব নরম বলিয়া সেইজন্য খাঁজগুলি শীঘ্রই নষ্ট হইয়া যায়। (খ) শব্দ পুনরুৎপাদনের সময় পর্দা কেবল উপর দিকে উঠে। পর্দার স্থিতিস্থাপকতার জন্য উহা নীচের দিকে নামে। (গ) অনুলিপি শব্দের স্পষ্টতা ঠিক গ্রহণ করিতে পারে না।

৯৮। **গ্রামোফোন** :—উপরোক্ত দোষগুলি শব্দ-প্রকোষ্ঠের উন্নতি করিয়া

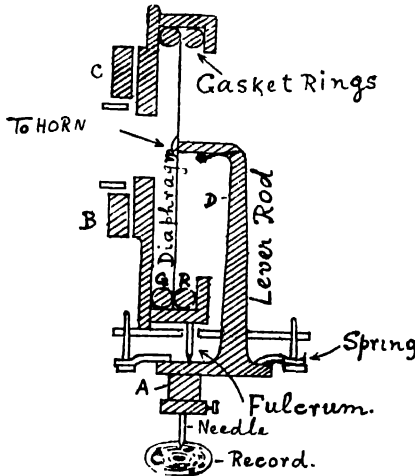
গ্রামোফোনের দ্বারা অপনোদন করা হয়। গ্রামোফোনে গান, বাজনা, বক্তৃতা প্রভৃতির কম্পন ধরা হয় ও পুনঃ উৎপাদন করা হয়।

(ক) খাঁজের প্রকৃতি ঃ—গ্রামোফনের অনুলিপিগুলি সমতল চাকতি (flat disc)। চাকতিতে খাঁজগুলি কুণ্ডলী (spiral) আকারে পরিধি হইতে ক্রম হ্রাসমান বৃত্তপথে চলিয়া কেন্দ্রের কিছুদূরে শেষ হয়। এই খাঁজগুলির গভীরতা সর্বত্র সমান কিন্তু খাঁজগুলি বিভিন্ন কতকগুলি তির্যক পর্যাবৃত্ত ঢেউ (curve or wave) দিয়া গঠিত এবং ঢেউগুলি প্রস্থে (width) ছোট-বড় হয়। শব্দের তীব্রতা ঢেউগুলিকে বড় করে। শব্দের তীক্ষ্ণতা ঢেউগুলিকে ছোট করে। তির্যক ঢেউ পিনের গতি উৎপাদন করে। ফলে অনুলিপির আবর্তনের সঙ্গে পিনটি খাঁজগুলির মধ্যে আশে-পাশে (sideways) চলে। ইহাতে পিন কম বাধা পায় এবং শব্দ উৎপাদন ভাল হয়।

৪৬নং চিত্র

(খ) শব্দ গ্রহণ ও অনুলিপি প্রস্তুত ঃ—শব্দ গ্রহণের সময় পিনটি শব্দ প্রকোষ্ঠে আঁটা হয়। যখন শব্দ তরঙ্গের আঘাতে পর্দা উপর-নীচে কম্পিত হয় তখন পিনটি আশে-পাশে কম্পিত হয়। ইহাতে আকাবাঁকা ঢেউ উৎপন্ন হয়। আধুনিক প্রণালীতে তড়িতের সাহায্যে শব্দের অনুলিপি প্রস্তুত হয়। স্বনককে একটি মাইক্রোফনের (microphone) সম্মুখে রাখা হয়। শব্দ তরঙ্গের সঙ্গে সঙ্গে মাইক্রোফনের পর্দা কম্পিত হয়। এই কম্পনের সঙ্গে সঙ্গে তড়িতের মাত্রা সামান্য বাড়ে বা কমে। তড়িৎ প্রবাহের এই সামান্য হ্রাস-বৃদ্ধিকে Thermonic Valve-এর সাহায্যে প্রয়োজন মত বর্ধিত করা হয়। এই বর্ধিত ও fluctuating তড়িৎ-প্রবাহ দ্বারা তড়িৎ-চুম্বক মারফৎ একটি খুব ছোট বাটালি (chisel) মোমাবৃত চাকতির উপর দিয়া পরিচালিত হয়। মোমের উপর শব্দ তরঙ্গের ছাপ পড়ে। মোমের অনুলিপিকে Negative বলে। এই অনুলিপির উপর Graphite মাখাইয়া Electroplate করিয়া তামা ধরিয়ে দেওয়া হয়। তামার অনুলিপিকে **মূল অনুলিপি** (Original or Parent reccrd) বলে। ইহার ফলে মোমের দাগগুলি তামার উপর সংরক্ষিত হয়। বাজারে যে অনুলিপি

পাওয়া যায় সেইগুলি রজন (resin), চাঁচগালা (shellac), স্লেট-গুঁড়া, copal, carbon black দিয়া তৈরী হয়। এই শক্ত মিশ্রণকে matrix বলে। Matrix-এর চাকতি সামান্য গরম করিয়া মূল অনুলিপির উপর রাখা হয় এবং উদক প্রেসের সাহায্যে প্রচুর চাপ (প্রত্যেক বর্গ ইঞ্চিতে কয়েক টন) দেওয়া হয়। এই শক্ত অনুলিপি ব্যবহারে শীঘ্র নষ্ট হয় না। অনুলিপি এক মিনিটে ৭৮ বার ঘোরে।

(গ) **শব্দ পুনরুৎপাদন** ঃ—বিশেষ ধরণের শব্দপ্রকোষ্ঠের দ্বারা অনুলিপি হইতে শব্দ উৎপাদন হয়। একটি গোলমুখ সরু পিন (needle) একটি লিভারের (lever) ছোট বাহু A-র সঙ্গে স্ক্রু দিয়া শক্তভাবে আঁটা থাকে। অনুলিপিকে (record) স্প্রীংয়ের শক্তি দ্বারা সমদ্রুতিতে চালান হয়। পিনের মোটা প্রান্ত ঘূর্ণায়মান অনুলিপির খাঁজের মধ্যে এপাশ-ওপাশ ঘোরে। লিভারের বড় বাহুর শেষপ্রান্ত একটি গোলাকার অভ্রের পর্দার (diaphragm) মাঝখানে আবদ্ধ থাকে। পর্দাটির ব্যাস ৪·৫ থেকে ৬ সেঃ মিঃ পর্যন্ত হয়। পর্দাকে দুইটি রবারের আংটার (gasket rings) মধ্যে বসান থাকে এবং যুক্ত আংটা একটি চোঙাকৃতি ধাতব প্রকোষ্ঠের সম্মুখভাবে বসান থাকে। এই প্রকোষ্ঠকে **শব্দ-প্রকোষ্ঠ** বলে। এই বাক্সটি একটি ধাতব শঙ্কু আকৃতির নলের (tone arm) সহিত সংযুক্ত থাকে। এই নলটি লম্ব অক্ষ বরাবর স্বাধীনভাবে ঘুরিতে পারে। শব্দ-প্রকোষ্ঠ সমেত এই নলটি অনুলিপির কেন্দ্র পর্যন্ত যায়। একটি হর্ণের দ্বারা শব্দটি খুব জোর করা হয়। পিনের খাঁজের উপর চলিবার সময় পিন কম্পিন হয়। হর্ণটি গ্রামোফোনের মধ্যেই ভাঁজ করা

৪৭নং চিত্র

থাকে। লিভারকে একটি ছুরির ধারের (knife edge) উপর বসান থাকে। এই ছুরির ধারই হইল লিভারের আলম্ব (fulcrum)। রেডিও গ্রামোফোনে শব্দ-প্রকোষ্ঠের বদলে তড়িৎ সাহায্যে শব্দ উৎপাদন করা হয়। ইহাকে pick up বলে। খাঁজের মধ্যে পিনের এপাশ-ওপাশ গতির সঙ্গে একটি ক্ষীণ তড়িৎ প্রবাহের সামান্য হ্রাস-বৃদ্ধি হয়। এই সামান্য হ্রাস-বৃদ্ধি ভালবের সাহায্যে বর্ধিত করিয়া লাউড্ স্পীকারের মধ্য দিয়া লওয়া হয়। ইহাতে শব্দ খুব জোরে শুনা যায়।

প্রশ্ন

1. Classify the musical instrument and give a short description of a typical example of each class.

2. Describe a phonograph and explain its action.
(C. U. 1932, '47)

3. Describe the gramophone. What is the function of the horn ? (A. U. 1923, '32)

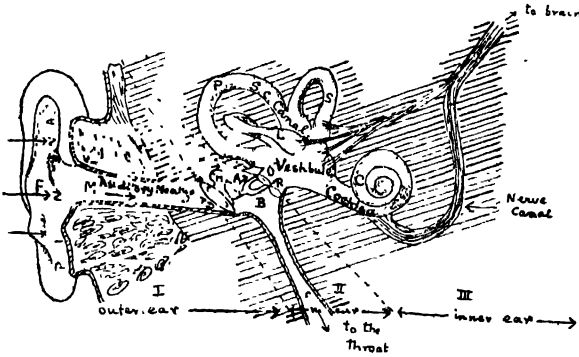
4. Give a short account of the different parts of a gramophone and describe the various stages in the propagation of the sound from the origin to the ears of the hearer. (Pat. U. 1931, C. U. 1946)

কর্ণ ও কণ্ঠস্বর (Ear and Voice)

১০০। **কাণঃ (ক) কাণের কাজ ঃ**—কাণ আমাদের শব্দ গ্রহণের একটি খুব দরকারী যন্ত্র। এই যন্ত্রের দ্বারা আমরা ৩০ হইতে প্রায় ৩০০০০ কম্পনাঙ্কের শব্দের অনুভূতি পাই। দুইটি সুমধুর স্বরের মধ্যে যদি শতকরা এক ভাগের মতন কম্পনাঙ্কের পার্থক্য থাকে তাহা হইলেও কাণের দ্বারা তাহার বিচার করিতে পারি। যে কোন বহু কম্পনাঙ্ক বিশিষ্ট স্বরের বিশ্লেষণ কাণের দ্বারা সম্ভব, যাহার ফলে কাণের দ্বারা এক কম্পনাঙ্কের স্বর ভিন্ন ভিন্ন বাদ্যযন্ত্র হইতে উত্থিত হইলে তাহাদের গুণের পার্থক্য বুঝা সম্ভব।

(খ) কাণের গঠন ঃ—কাণের গঠন তিন ভাগে ভাগ করা যায় যথা ঃ **বহিরাংশ** (outer ear or pinna), **মধ্যাংশ** (middle ear or drum) এবং **অন্তরাংশ** (inner ear or labyrinth).

বহিরাংশ ঃ—বাহিরের দিকে F-এর (pinna) মধ্যভাগ অনেকটা অবতল। উহা বাহির হইতে শব্দ-তরঙ্গ সংগ্রহ কার্যে সহায়তা করে। সংগৃহীত শব্দ-তরঙ্গ এক ইঞ্চি দীর্ঘ M নলের (ear passage or auditory meatus) ভিতর দিয়া স্থিতিস্থাপক পর্দা (membrana tympani) D-তে আঘাত করে। এই পর্দা M নলের ভিতর মুখ বন্ধ করে।

মধ্যাংশ ঃ—ইহা চারিদিকে হাড়ের প্রাচীর-বেষ্টিত গর্ত (cavity)। প্রাচীরের গায়ে তিনটি জায়গায় তিনটি পর্দা আছে। বাহিরের দিকে পূর্ববর্ণিত D পর্দা; ভিতরের দিকে O পর্দা (fenestra ovalis) ও R পর্দা (fenestra rotunda) অবস্থিত। গর্তের মাঝখানে তিনটি ক্ষুদ্র হাড় H, A, B পর পর জোড়া থাকে। তিনটি হাড়ের সমবায় লিভারের (lever) মত কাজ করে।

৪৯নং চিত্র

ঐ তিনটি হাড়ের মাধ্যমে বায়ুর কম্পন D পর্দা হইতে কাণের অন্তরাংশে এসে পৌঁছায়। প্রথম হাড় H (hammer or malleus) হাতুড়ির আকারের ইহার একপ্রান্ত D পর্দার সঙ্গে সংযুক্ত এবং অপর প্রান্ত দ্বিতীয় হাড় A-র সহিত যুক্ত। A হাড়টি নেহাই (anvil or incus) আকারের। ইহার অপর প্রান্ত তৃতীয় হাড় Bর সহিত সংযুক্ত। B হাড়টি ঘোড় সওয়ারের রেকাবির (stirrup or stapes) আকারের। B হাড়ের অপর প্রান্ত Fenestra Ovalis-এর সঙ্গে যুক্ত। মধ্য-কাণ একটি নল (Eustrachian tube E) দ্বারা গলার সঙ্গে যুক্ত

থাকে। এই নল সাধারণতঃ বন্ধ থাকে কিন্তু কোন বস্তু গিলিবার সময় ইহার একটি কপাট (valve) খুলিয়া যায়। ইহাতে মধ্য-কাণের গর্তের বায়ুর চাপ বাহিরের বায়ুর চাপের সমান হয়।

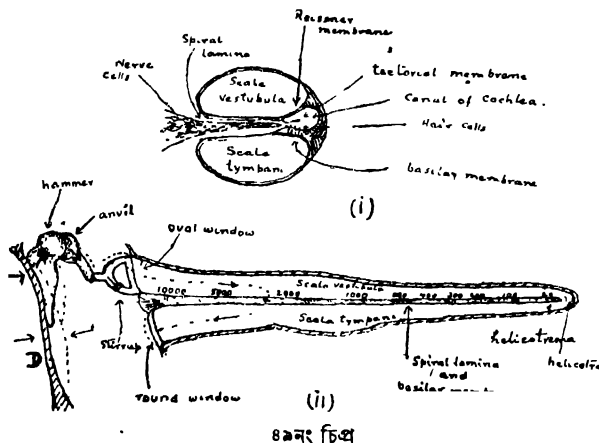
অন্তরাংশ ঃ—ইহার গঠন খুব জটিল। ইহাতে হাড়ের প্রাচীর-বেষ্টিত কয়েকটি ফাঁপা নল বা গর্ত থাকে। ইহাকে হাড়ের ধাধাঁ (Bony or osseous labyrinth) বলে। গর্তের ভিতরের পর্দার স্তর (membranous labyrinth) থাকে। অন্তরাংশের মোটামুটি দুইটি ভাগ ঃ (ক) অন্তরাংশের নীচের অংশ Cochlea নামক নল। আবার Cochlea-র উপর অংশকে Scala Vestibule ও নীচের অংশকে Scala Tympani বলে। Cochlea-এর গা হইতে স্নায়ুমণ্ডলী (auditcry nerves) বাহির হইয়া মস্তিষ্কে গিয়াছে। এই স্নায়ুমণ্ডলীর দ্বারা শ্রবণানুভূতি জাগে। Vestibule-এর বাহিরের পর্দার (oval win-ow) সহিত B হাড়ের যোগ থাকে। (খ) অন্তরাংশের উপর দিকে অর্ধবৃত্তাকার নল (semi circular canal) P. L. S থাকে। ইহাদের গা হইতে স্নায়ুমণ্ডলী বাহির হইয়া মস্তিষ্কে গিয়াছে। কিন্তু এই স্নায়ুগুলি শ্রবণানুভূতি জাগায় না। ইহারা স্থৈতিক বোধ (sense of balance) জন্মায়। এই নলে প্রদাহ হইলে মাথা ঘোরার ভাব হয়। পর্দার ফাঁকের মধ্যে Endolymph নামক তরল এবং হাড়ের ফাঁকের মধ্যে Perilymph নামক তরল থাকে।

Cochlea-র গঠন ঃ—Cochlea নলটি ঠিক শামুকের খোলার মত পেঁচাল (spiral); উহাতে আড়াই প্যাঁচ থাকে। ইহার ভিতর লম্বালম্বিভাবে Reissner's membrane ও Spiral lamina নামক দুইটি পর্দা (membrane) দ্বারা তিন অংশে বিভক্ত।

(i) নং চিত্র Cochlea-র প্রস্থচ্ছেদের (cross section) এবং (ii) নং চিত্র cochlea-র অনুদৈর্ঘিক ছেদের (longitudinal section) ছবি।

সমস্ত Basilar membraneএর গায়ে (যাহা প্রায় ৩ সেঃ মিঃ লম্বা) প্রায় ৩০০০০ স্নায়ুর প্রান্তভাগ বর্তমান, অর্থাৎ প্রত্যেক মিঃ মিঃ দৈর্ঘ্যে হাজার করিয়া স্নায়ুর প্রান্ত বর্তমান; ঐ স্নায়ু মণ্ডলী হাড়ের spiral laminaর মধ্য দিয়া

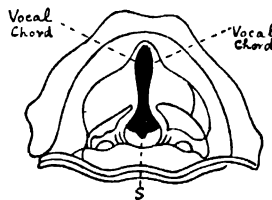
nerve canalএর ভিতর দিয়া মস্তিষ্কে চলিয়া গিয়াছে। অনেক বৈজ্ঞানিকের মতে oval window যেখান দিয়া কাণের মধ্যাংশ হইতে Bএর সাহায্যে scala vestibuleএ শব্দ কম্পন পৌছায় সেখানে যে সব স্নায়ু বর্তমান

৪৯নং চিত্র

উহারা উচ্চ কম্পনাঙ্কের শব্দ গ্রহণ করিতে পারে এবং উহার শেষপ্রান্তে নিম্ন কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট শব্দগ্রাহী স্নায়ুমণ্ডলী অবস্থিত। এই চিত্রে ভিন্ন ভিন্ন কম্পনাঙ্কের শব্দগ্রাহী স্নায়ুর অবস্থান দেখান হইয়াছে।

১০১। **কাণের ভিতর গতি ঃ** কাণ P বহিরাংশ দ্বারা স্বনকের শব্দ তরঙ্গ সংগ্রহ ও কেন্দ্রীভূত করিয়া নলের মধ্য দিয়া পরিচালিত করে। এই তরঙ্গ D পর্দায় আঘাত করে। ইহাতে পর্দা কাঁপে। মধ্য-কাণের তিনটি হাড় leverএর কাজ করিয়া এই কম্পনের বিস্তারকে ছোট করিয়া কাণের অন্তরাংশে হাজির করে। যখন stirrupটি নড়ে, যদি উহা খুবই ছোট বিস্তারের হইয়া থাকে তবে ঐ কম্পনটি oval window ভিতর দিয়া scala vestibuleএর মধ্য দিয়া helicotermaর মধ্য দিয়া scala tympaniর ভিতর দিয়া round windowতে এসে ধাক্কা খায় এবং উহার ফলে যখনই stirrup ভিতর দিকে সরে আসে round windowটি বাহির দিকে চলে আসে। অবশ্য উহার বিস্তার খুবই সামান্য।

যখন প্রায় ২০০০ কম্পনাঙ্কের শব্দ কাণে আসিয়া পড়ে তখন stirrupএর সাহায্যে যে তরঙ্গ cochlion জলীয় পদার্থের মধ্যে হয় তাহা ফুঁটকি দেওয়া বাণ চিহ্নিত পথে প্রবাহিত হয় (চিত্র ii). যখন এই তরঙ্গ পাতলা Reissener পর্দার ভিতর দিয়া spiral lamina পার হইয়া চলিয়া যায় তখন Basilar membrane ও tectorial membraneএর মধ্য আপেক্ষিক গতির (relative motion) সৃষ্টি হয় যাহার ফলে সেই জায়গায় অবস্থিত Hair cellগুলি উহার সহিত সংশ্লিষ্ট স্নায়ুর উপর স্পন্দন সৃষ্টি করে। ইহার ফলে এই গতির খানিকটা অংশ শক্তিতে পরিণত হয়। সেই শক্তি তড়িৎ শক্তিতে পরিবর্তিত হইয়া স্নায়ুপথে মস্তিষ্কে যায়। অতএব দেখা গেল যে ঐ Hair cellএর সাহায্যেই কম্পাঙ্ক বিশ্লেষণ ঘটিয়া থাকে।

কাণে শব্দের গতি এইরূপ: স্বনক→পিনা→Mনল→Dপর্দা→তিনটি হাড়→Fenestra oralis পর্দা→Cochleaর Perilymph→endolymph→basilar membrane→Hair cells→মস্তিষ্ক।

১০২। **কণ্ঠস্বর:** মোটামুটি ভাবে বাক্ যন্ত্রকে (Vocal organ) দ্বিপন্থী অর্গান নলের সহিত তুলনা করা চলে। V_1V_1 চিহ্নিত দুটি বাকতন্ত্রী (vocal cord) আছে যার ভিতর দিয়া বাতাস ফুস ফুস হইতে জোরে বাহির

৫০নং চিত্র

হইয়া আসে। ইহার ফলে ঐ তন্ত্রী দুইটি কম্পিত হয় ও শব্দের সৃষ্টি ঘটিয়া থাকে। ফুস ফুস হইতে যে নলে বায়ু সঞ্চালিত হয় তাহার মাথায় (Trachea) কণ্ঠনালীর উপর তন্ত্রী দুটি অবস্থিত, তন্ত্রী দুইটির মাঝে সরু লম্বা ফালির মত অংশ (slit) খোলা থাকে তাহার ভিতর দিয়া হাওয়া প্রবাহিত হওয়ার সময় কম্পনের সৃষ্টি হয়। ঐ দুইটি তন্ত্রীর টান কম বেশী করিয়া শব্দের কম্পনাঙ্কের পরিবর্তন ঘটান

হয়। কণ্ঠনালির একদিক ফুসফুসে শেষ হইয়াছে আর অপরদিক স্বর যন্ত্র (larynx) অবস্থিত। যে স্বর বাকতন্ত্রীর কম্পনের ফলে সৃষ্টি হয় উহা গলা, নাসিকা, মুখের গহ্বরের মধ্য দিয়া আসে যাহার ফলে স্বরের গুণ পরিবর্তিত। এই সকল ফাঁপা স্থানের (hollow) আয়তন কম বেশী করা সম্ভব যাহার ফলে ঐ সকল গহ্বর অনুনাদকের কাজ করে এবং স্বরের রূপের তারতম্য ঘটায়।

শিশু ও নারীর বাক্‌তন্ত্রের চেয়েও পুরুষের বাকতন্ত্রী বেশী লম্বা যাহার ফলে শিশু ও নারীর কণ্ঠস্বর অপেক্ষা পুরুষের কণ্ঠস্বর গম্ভীর হয় এবং নারী ও শিশুর কণ্ঠস্বরের কম্পন সাধারণতঃ বেশী হইয়া থাকে।

প্রশ্ন।

1. Give a brief description of the human ear with a neat diagram and mention the functions of the different parts (C. U. 1933 '38).

চতুর্থ খণ্ড সমাপ্ত

পরিভাষা ও বিষয় সূচী

বিষয়গুলি পৃষ্ঠা অনুসারে

১। সাধারণ পদার্থ-বিদ্যা

Energy—শক্তি ৭২
Equilibrium—সাম্য, সুস্থিতি ৫১
Exhaustion—নিষ্কাশন ১১৪
Fluid—তরল, বায়ব ১০৩
Force—বল ২১
Force pump—উৎক্ষেপী পাম্প ১৬৯
Force, parallelogram of—বল সামন্তরিক ২৮
Furnace—চুল্লী
Gas—গ্যাস
Graduation—অংশাঙ্কন
Graph—লেখ, চিত্র, ছক
Gravitation—মহাকর্ষ ৩৯
Gravitational unit—মহাকর্ষীয় একক ৪৩
Gravity—অভিকর্ষ ৪০
Horizontal—অনুভূমিক
Hydraulic—ঔদক ১১৩
Indestructibility—অনশ্বরতা
Inert—নিষ্ক্রিয়
Inertia—জাড্য ২২
Inextensible—অবিস্তার্য
Jacket—জ্যাকেট, আবরণ, কুঞ্চুক
Kinetic energy—গতীয় শক্তি ৭৩
Mass—ভর ৪
Material—জড়, উপাদান
Motion—গতি ১১
Neutral—উদাসীন ৫৩
Neutralisation—প্রশমন
Normal Pressure—প্রমাণ বা সাধারণ চাপ ১৫৩
Oscillation—দোলন ৮৩
Pendulum—দোলক ৮৩
Perfect—আড্য
Period—পর্যায়, কাল ৮৩
P. of Oscillation—দোলন কাল
Periodic—পর্যাবৃত্ত
Permanent—নিত্য
Permeable—প্রবেশ্য
Perpetual—অবিরাম, চিরন্তন
Plate—পাত, ফলক
Plumb line—ওলন দড়ি
Potential energy—স্থৈতিক শক্তি ৭৩
Rarefaction—তনুকরণ
Ratio—অনুপাত
Reading—পাঠ, পঠন
Receiver—আধার
Relative—আপেক্ষিক
Resultant—লব্ধি ১৮
Rest—বিরাম, স্থিতি ১১
Retardation—মন্দন ১৪
Revolution—আবর্তন
Rider—রোহী ৫৫
Rivet—রিভেট, নাচি
Rotatory—ঘূর্ণ
Rotation—ঘূর্ণন
Strain—টান, বিকৃতি ৯৪
Suction—চোষণ
Surface—তল, পৃষ্ঠ
Temperature—উষ্ণতা ১৮০
Tenacity—সংশক্তি,
Tension—বল, টান
Tension, surface—পৃষ্ঠটান ১৪৬
Turn—পাক
Twist—মোচড় ৯৯
Uniform—সম
Unstable—দুঃস্থিত
Valve—ভালভ, কপাট
Vaporisation—বাষ্পীভবন
Variable—পরিবর্তনীয়
Velocity—বেগ ১২
Vernier—ভার্ণিয়ার ৬
Vertical—উল্লম্ব অভিলম্ব
Vibration—কম্পন, স্পন্দন
Volatile—উদ্বায়ী
Volume—আয়তন, ঘনফল
Waterbath—উদ্‌গাহ
Weight—ওজন, ভার ৪২

Weight box—ওজন বাক্স ৫৬
Work—কার্য ৬৯

২। তাপ

Absolute coefficient—পরমাঙ্ক চরমাঙ্ক,
„ expansion—পরম বা চরম প্রসারণ ২০৬
„ scale—পরম ক্রম বা স্কেল ২২৬
„ temperature—পরম উষ্ণতা
Absorb—শোষণ করা
Absorbent—শোষক
Absorbing power—শোষণ শক্তি
Adiathermanous—রুদ্ধকীর্ণতাপ
Apparent expansion—আপাত প্রসারণ
Boiling point—স্ফুটনাঙ্ক ২৫২
Calorie—ক্যালরি ২৩১
Calorific value—তাপন মূল্য ২৪০
Calorimeter—ক্যালরিমিটার ২৩১
Capacity, thermal—তাপধারকত্ব, তাপগ্রাহিতা
Change of state—অবস্থান্তর
Coefficient of expansion—প্রসারাঙ্ক ১৯৪
Column—স্তম্ভ
Combustion—দহন
Compensated—প্রতিবিহিত ২০০
Conduction—পরিবহন ২৯৯
Conductor, bad—কুপরিবাহী ৩০৫
Convection—পরিচলন ৩০৬
Cooling—শীতলীভবন
Critical Temperature—সন্ধি উষ্ণতা ২৭৩
Cylinder—চোঙ, স্তম্ভক
Dew-point—শিশিরাঙ্ক ২৮৬
Dilatation—প্রসারণ
Evaporation—বাষ্পীভবন ২৬৩
Explosion—বিস্ফোরণ
Fixed points—মান বিন্দু ১৮২
Freezing mixture—হিমমিশ্র ২৬০
Freezing points—হিমাঙ্ক ১৮২
Frost—তুহিন
Gas—গ্যাস
Heat—তাপ ১৮০
„ latent—লীন তাপ ২৪০
„ specific—আপেক্ষিক তাপ ২৩২
„ mechanical equivalent —বল তুল্যাঙ্ক
Humidity—আর্দ্রতা ২৮৭
Linear expansion—দৈর্ঘ্য প্রসারণ ১৯৪
Liquefaction—গলন, তরলীকরণ ২৫৩
Melting point—গলনাঙ্ক ২৫৬
Mist—কুহেলিকা ২৯৬
Moist—আর্দ্র
Radiant heat—বিকীর্ণ তাপ
Refrigerator—হিমায়ক ২৭৫
Regelation—পুনঃ শিলীভবন ২৫৮
Steam trap—ষ্টীম ফাঁদ ২৪৪
Thermal—তাপীয়
Thermometer—থার্মমিটার, তাপমাপক ১৮১
„ Maximum—গরিষ্ঠ থার্মমিটার ১৮৯
„ Minimum—লঘিষ্ঠ „ ১৮৯
„ weight—ভার „ ২০৭
Unit, thermal—তাপীয় একক
Vaporous—বাষ্পীয়
Water equivalent—তুল্য জলাঙ্ক ২৩৪

৩। আলো

Aberration—অপেরণ
Absorption, Selective—বৃত শোষণ
„ Spectrum—শোষণ বর্ণালি
Achromatic lens—অবর্ণ লেন্স
Actinic ray—বিকারক রশ্মি
Angle, Critical—সঙ্কট কোণ
„ of deviation—বিসরণ কোণ
„ of min. deviation —লঘিষ্ঠ বিসরণ কোণ
„ of diffraction—আবর্তন কোণ
„ of incidence—আপতন কোণ
„ of reflection—প্রতিফলন কোণ
„ of refraction—প্রতিসরণ কোণ

Aperture (*of a lens* বা *mirror*)—উন্মেষ
Arc spectrum—আর্ক বর্ণালি
Astigmatic—বিষমদৃক
Astigmatism—বিষমদৃষ্টি
As-telescope—নভোবীক্ষণ
Axis, optical—আলোকাক্ষ
,, of rotation—ঘূর্ণাক্ষ
,, ,, principal—প্রধান অক্ষ
Band spectrum—পটি বর্ণালি
Beam of light—রশ্মি
Bifocal—দ্বিকোকাস
Blind, colour—বর্ণান্ধ
,, spot—অন্ধবিন্দু
Bundle of rays—রশ্মিগুচ্ছ
Pinhole camera—সূচীছিদ্র ক্যামেরা
Candle foot—ফুট বাতি
Candle power—দীপশক্তি
Centre, optical—রশ্মির কেন্দ্র
Chromoscope—বর্ণছক
Chromosphere—বর্ণমণ্ডল
Circularly polarised light —বৃত্ত সমবর্তিত আলোক
Concave—অবতল
,, double—উভাবতল
Concentration (*of rays*)—সমাহরণ
Convex—উত্তল
Convex, concavo—উত্তলাবতল
Convex, double—উভোত্তল
,, plane—সমোত্তল
Crystal—স্ফটিক, কেলাস
Decomposition of light—বিশ্লেষণ
Deflection—বিক্ষেপ
Deviation—চ্যুতি
Diffused light—ব্যস্তালোক, বিক্ষিপ্তালোক
Direct ray—মূল রশ্মি
Dispersion of light—বিচ্ছুরণ
Distortion—বিকৃতি
Divergent—অপসারী

Eclipse—গ্রহণ
,, annular—বলয় গ্রাস
,, partial—খণ্ড গ্রাস
,, total—পূর্ণ গ্রাস
Emergence, angle of—নির্গম কোণ
Field lens—ক্ষেত্রবর্ধক লেন্স
Focal length—ফোকাস দূরত্ব
Focus, real—সৎ ফোকাস
,, virtual—অসৎ ফোকাস
Homogeneous—সমসত্ব
Illuminating power—দীপন শক্তি
,, intensity—দীপন মাত্রা
Image—প্রতিবিম্ব
Incidence—আপতন
Incident—আপতিত
Index, refractive—প্রতিসরাঙ্ক
Infra-red—অবলোহিত
Inverted image—বিপরীত প্রতিবিম্ব
Inversion—উৎক্রম
Lamp—দীপ
,, Safety—নিরাপদ দীপ
Length, wave—তরঙ্গ দৈর্ঘ্য
Lens, magnifying—বিবর্ধক লেন্স
Light, monochromatic—সবোর্মি লেন্স
Magnification—বিবর্ধন
Microscope—অণুবীক্ষণ
Microscope, high power—অতিবর্ধক অণুবীক্ষণ
Minimum—নিম্নতম, লঘিষ্ঠ
Mirage—মরীচিকা
Observation—পর্যবেক্ষণ
Opaque—অনচ্ছ, অস্বচ্ছ
Optics—আলোক বিদ্যা
Penumbra—উপচ্ছায়া
Photograph—আলোকচিত্র ফটোগ্রাফি
Photometer—দীপ্তি মাপক
,, grease spot —তৈলচিহ্ন দীপ্তিমাপক

Photometry—দীপ্তিমিতি
Photo plate—ফটো প্লেট
Point, focal—ফোকাস বিন্দু
Point of incidence—আপতন বিন্দু
Point of intersection—ছেদ বিন্দু
Prism—ত্রিকোণ
Radiant—দীপ্ত, সুপ্রভ
Rectilinear—ঋজু রেখ
Reflect—প্রতিফলিত কর
Reflection—প্রতিফলন
Reflector—প্রতিফলক
Refract—প্রতিসরণ কর
Refracted—প্রতিসৃত
Refractive index—প্রতিসরাঙ্ক
Retina—অক্ষিপট
Rotatory polarisation—ঘূর্ণ সমাবর্তন
Telescope—দূরবীক্ষণ, দূরবিন
" Galileo—গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ
Telescope, reflecting—মুকুর দূরবীণ
Translucent—ঈষদচ্ছ
Transparent—স্বচ্ছ
Twilight—সান্ধ্যালোক
Ultra violet—অতিবেগুণি
Umbra—প্রচ্ছায়া
Virtual Image—অসদ্ বিম্ব
Visual—চাক্ষুষ
Wave, front—তরঙ্গ শীর্ষ
" theory—তরঙ্গবাদ
Wheel, toothed—দন্তুর চক্র